

# Amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du Centre



**CIRAD ■ ICRISAT**

Ministère français de la coopération  
Institut d'économie rurale

Réseau ouest et centre africain de recherche sur le sorgho  
Compagnie malienne pour le développement des textiles

**Atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho**

17-20 mars 1997

Bamako, Mali

# Amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du Centre

## *Sorghum improvement in Western and Central Africa*

Alain RATNADASS,  
Jacques CHANTEREAU, Jacques GIGOU

éditeurs scientifiques

**Atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho**

17-20 mars 1997  
Bamako, Mali

Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement  
Département des cultures annuelles, Cirad-ca



RATNADASS A., CHANTEREAU J. , GIGOU J. (éditeurs), 1998. Amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du Centre. Actes de l'atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad, 17-20 mars 1997, Bamako, Mali. Collection Colloques, Montpellier, Cirad-ca, 315 p.

### **Comité d'organisation de l'atelier**

Dr Alain Ratnadass

M. Dramane Doumbia

Mme Hawoye Traoré

Mme Anne-Marie Mukambeli

M. Boubou Sankaré

M. Abdou Coulibaly

M. Mamadou Konaré

### **Comité scientifique**

Dr Alain Ratnadass

Dr Jacques Chantereau

Dr Jacques Gigou

### **Bailleurs de fonds**

Ministère français de la coopération

Cirad

Icrisat

Cmdt

### **Partenaires**

Ier

Rocars

### **Remerciements**

Le programme conjoint Icrisat-Cirad sur le sorgho remercie l'équipe du Rocars pour sa contribution à la bonne organisation de l'atelier, le centre régional de l'énergie solaire (Cres) dans les locaux duquel celui-ci s'est tenu et les collègues suivants de l'Icrisat pour leurs corrections des documents traduits en anglais : Drs D.E. Hess, H.F.W. Rattunde, R. Tabo et V.C. Umeh.

© Cirad 1998

ISBN 2-87614-304-6

ISSN 1264-112X

Edition et mise en pages Cirad-ca/spid

Impression Cirad

# Sommaire

## Avant-propos

Introduction	
J.-L. MARCHAND	9
Allocution de bienvenue	
S.K. DEBRAH	11
Allocution d'ouverture	
O. NIANGADO	13
Présentation du programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad	
S.K. DEBRAH	15
Les activités de l'équipe du Cirad du programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad : points saillants (1989-1997)	
A. RATNADASS, J. CHANTEREAU, J. GIGOU, P. GRARD	17

## Session I I Génétique et amélioration variétale

Influence of night temperature on photoperiod response of a West African guinea sorghum landrace	
M. VAKSMANN, J. CHANTEREAU, I. BAHMANI, M. AG HAMADA, M. CHARTIER, R. BONHOMME	23
Characterization of different temperature and photoperiod responses in African sorghum cultivars	
J. CHANTEREAU, M. VAKSMANN, I. BAHMANI, M. AG HAMADA, M. CHARTIER, R. BONHOMME	29
Etude du déterminisme génétique du photopériodisme des sorghos guinea	
G. TROUCHE , M. VAKSMANN, J. CHANTEREAU, M. KOURESSY, H.D. MAIGA, C. BARRO	37
Importance du photopériodisme chez les sorghos tropicaux, conséquences pour un programme de sélection	
M. KOURESSY, M. OUATTARA, M. VAKSMANN	49
Mise au point de tests de laboratoire pour évaluer la qualité du sorgho. Relations avec certaines caractéristiques physico-chimiques des grains	
G. FLIEDEL, M. YAJID, F. MATENCIO, P. FRANICALANCI	55
Quantitative trait loci mapping at Cirad for the sorghum improvement	
P. DUFOUR, G. TROUCHE, G. FLIEDEL, M. DEU, J.F. RAMI, S. DA, J. CHANTEREAU, J.-C. GLASZMANN, P. HAMON	61
L'utilisation des sorghos guinea en sélection dans le programme conjoint Icrisat-Cirad sur le sorgho	
J. CHANTEREAU, C. LUCE, M. AG HAMADA, G. TROUCHE	65

## Session II I Entomologie

Les insectes nuisibles du sorgho en Afrique de l'Ouest	
O.Y. DOUMBIA	75
Sorghum insect pest distribution and losses in West and Central Africa	
O. AJAYI, A. RATNADASS	81
Bioécologie des foreurs de tiges du sorgho en Afrique de l'Ouest et perspectives de lutte intégrée	
D. DAKOUO, A. RATNADASS	91
Bioecology of the panicle-feeding bug <i>Eurystylus oldi</i> Poppius (heteroptera : Miridae), a key pest of sorghum in Mali	
A. RATNADASS, B. CISSE, D. BUTLER	105

Host plant resistance in sorghum to <i>Eurystylus oldi</i> in West Africa A. RATNADASS, B. CISSE , M.F. COULIBALY, G. FLIEDEL, J. CHANTEREAU .....	113
Effet insecticide d'extraits de pourghère sur les foreurs des tiges et les punaises des panicules du sorgho au Mali B. CISSE, A. RATNADASS, L. MENGUAL, C. DEMBELE .....	119

### Session III I Malherbologie

Le <i>Striga</i> dans les systèmes de production de la zone Mali-Sud F. GIRAUDY, M. NIANG, D. DEMBELE .....	129
Tests d'utilisation d'herbicides pour la lutte contre <i>Striga hermonthica</i> G. HOFFMANN, P. MARNOTTE, P. GRARD, D. DEMBELE .....	135
La combinaison de l'association de cultures sorgho-niébé et de l'inoculation avec <i>Fusarium oxysporum</i> pour la lutte intégrée contre <i>Striga hermonthica</i> (Del.) Benth. au Mali C. DIARRA .....	141
Les plantes parasites au Mali : inventaire spécifique et éléments de bio-écologie Parasitic plants in Mali: species composition and bio-ecological aspects G. HOFFMANN, P. GRARD .....	145

### Session IV I Agronomie

Intérêt des associations de légumineuses au sorgho K. TRAORE .....	149
Rotation and fertilizer effects on the productivity of sorghum based cropping systems in Northern Nigeria R. TABO. ....	159
Le sorgho et les autres céréales dans les systèmes de culture de la zone Mali-Sud F. GIRAUDY, J. GIGOU, M. NIANG. ....	167
Les difficultés pour maintenir la fertilité des sols en cultures paysannes M. KONE, M. D. DOUMBIA .....	175
Les contraintes aux systèmes de cultures coton-céréales dues à l'acidité J. GIGOU .....	181

### Session V I Développement. Les aspects variétaux et la protection des cultures

Etude de nouvelles variétés de sorgho en milieu paysan dans la zone cotonnière Cmdt au Mali (1995-1996) J. CHANTEREAU, M. AG HAMADA, A. BRETAUDEAU, S.O. TEMBELY. ....	199
Potential of sorghum hybrids in West and Central Africa D.S. MURTY, R. TABO .....	211
Evaluation de l'impact des recherches variétales de sorgho et de mil en Afrique de l'Ouest et du Centre A.M. YAPI, S.K. DEBRAH .....	215
Présentation de Coton <i>Doc</i> , Adventrop <i>Doc</i> et Ento <i>Doc</i> B. GIRARDOT, P. GRARD, A. RATNADASS .....	223

## Session VI I Développement. Les aspects agronomiques

Evolution de l'approche défense et restauration des sols de la Cmdt dans la zone Mali-Sud.

De la lutte antiérosive au maintien du potentiel productif

N.I. FANE, B. WENNINK. . . . . 231

Participation paysanne et gestion de la fertilité

S. KANTE, T. DEFOER, T. HILHORST . . . . . 239

Méthode d'aménagement en courbes de niveau à l'échelle du champ

J. GIGOU. . . . . 249

Perception paysanne du *Striga* et contraintes à l'introduction de nouvelles techniques

D. DEMBELE, G. HOFFMANN. . . . . 263

Enquête sur les techniques de maintien du potentiel productif

F. GIRAUDY, T. SCHRADER, A. MAIGA, M. NIANG . . . . . 265

## I Rapports de session

Rapport de la session I. Génétique et amélioration variétale

*Report of session I. Genetics and plant breeding*

J. CHANTEREAU . . . . . 277

Rapport de la session II. Entomologie

*Report of session II. Entomology*

A. RATNADASS. . . . . 283

Rapport de la session III. Malherbologie

*Report of session III. Weed science*

P. GRARD. . . . . 289

Rapport de la session IV. Agronomie

*Report of session IV. Agronomy*

J. GIGOU. . . . . 293

Rapport de la session V. Développement : aspects variétaux et protection des cultures

*Report of session V. Development: varietal and crop protection aspects*

J. CHANTEREAU. . . . . 295

Rapport de la session VI. Développement : aspects agronomiques

*Report of session VI. Development: agronomic aspects*

J. GIGOU . . . . . 299

## Séance de clôture

Discours du chef du programme céréales du Cirad-ca

J.-L. MARCHAND. . . . . 303

Discours du représentant de l'Icrisat

F. WALIYAR . . . . . 305

Discours du représentant de l'Ier

O. NIANGADO . . . . . 307

Liste des participants . . . . . 311



## Avant-propos

Cet atelier marque la fin de la troisième et dernière phase de financement par le ministère français de la coopération, de l'équipe française du programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad, après huit années d'une collaboration entre l'Icrisat, le Cirad, les Snra du réseau sorgho Rocars (au premier rang desquels l'Ier au Mali), ainsi que les sociétés de développement (notamment la Cmdt au Mali) et diverses autres institutions, en matière de recherche et de développement sur le sorgho en Afrique de l'Ouest et du Centre.

Ses objectifs sont de présenter les résultats des travaux des recherches menées ces huit dernières années par l'équipe française de Samanko, et ceux menés par d'autres équipes, en liaison forte avec celle de Samanko et de faire ressortir, de façon synthétique :

- les bénéfices de la collaboration entre le Cirad, l'Icrisat et les autres partenaires ;
- les implications pour le Mali et les pays de la région en termes d'utilisation des résultats obtenus et d'axes de recherche à privilégier dans l'avenir.

*This workshop corresponds to the end of the third and last phase of funding by the French Ministry of Cooperation, of the French team based at Samanko, with the Icrisat-Cirad Joint Sorghum Program. It takes place after eight years of collaboration between CIRAD, ICRISAT, NARS members of WCASRN sorghum network (particularly Ier in Mali), as well as development societies (notably CMDT in Mali) and various other institutions, in terms of sorghum research and development in West and Central Africa.*

*Its objectives are to present the results of research work conducted during the last eight years by the French team posted at Samanko, and those conducted by other teams, with strong links with that of Samanko; to emphasize, in a synthetical manner:*

- *benefits from collaboration between Cirad, Icrisat and other partners;*
- *consequences for Mali and other countries of the region in terms of utilization of results and priority research directions for the future.*

# Introduction

J.-L. MARCHAND

Chef du programme céréales du Cirad-ca

Parmi les départements du Cirad, le département des cultures annuelles (Ca) a en charge les recherches sur les cultures annuelles. Il est structuré en 9 programmes, 5 programmes plantes (coton, riz, canne à sucre, céréales, oléoprotéagineux) et 4 programmes écorégionaux, et 12 unités de recherches et laboratoires. Le programme céréales compte 16 chercheurs, travaillant sur le maïs et le sorgho, mais aussi sur l'igname.

Depuis 8 ans, 4 de ces chercheurs travaillent ici, à Samanko, avec l'Icrisat. C'est, à ma connaissance, le seul exemple d'une équipe aussi nombreuse travaillant aussi longtemps et de façon aussi étroite avec un Cirad, dans les domaines de la sélection, l'entomologie, la malherbologie et l'agronomie. Tout n'a pas toujours été facile, nous avons eu, avec l'Icrisat, des discussions parfois assez dures, mais nous avons voulu, ensemble, réussir cette collaboration, et elle a réussi.

Cette période s'achève pour des raisons de financement. Le ministère français de la coopération qui a financé l'équipe française pendant 8 ans ne peut plus continuer. L'équipe va donc se disperser. Il nous a semblé nécessaire, avant le départ de plusieurs chercheurs français, de faire la synthèse des travaux de mes collègues ici, mais aussi de ceux de l'Icrisat, et de ceux d'autres chercheurs du Cirad travaillant, au Mali, au Burkina et à Montpellier, sur le sorgho en liaison avec l'équipe de Samanko. Il nous est aussi apparu nécessaire de donner la parole aux utilisateurs de nos recherches, en particulier à la Cmdt.

C'est pourquoi nous avons organisé cet atelier de restitution, qui suit l'assemblée générale du réseau Rocars et nous permet de bénéficier de la présence de plusieurs de ses membres. Je dois avouer que nous n'espérions pas une telle affluence, preuve que les recherches sur le sorgho en Afrique de l'Ouest sont bien vivantes.

# Allocution de bienvenue

S.K. DEBRAH

Représentant de l'Icrisat au Mali

Monsieur le responsable de programme Cirad-Ca,

Monsieur le directeur de l'Ier,

Mesdames, Messieurs,

Au nom du directeur exécutif de l'Icrisat pour l'Afrique de l'Ouest et du Centre empêché, de tout le personnel de la station de Samanko et en mon nom propre, j'ai l'honneur et le plaisir de vous souhaiter la bienvenue à l'atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad.

Mes vifs remerciements vont aux participants venant du Burkina Faso, de la France, du Cameroun, de la Côte d'Ivoire, du Nigeria, du Tchad, du Togo et des collègues du programme Icrisat de l'Inde. Vos participations effectives manifestent l'importance de cet atelier qui marque la fin d'une époque de vraie collaboration de recherche entre l'Icrisat et le Cirad, rendue possible par les financements mobilisés de part et d'autre et notamment, du côté du Cirad, par le soutien financier du ministère français de la coopération et par le financement de l'Icrisat. Il y a lieu de remercier également le gouvernement du Mali et nos collègues chercheurs de l'Ier au Mali et les autres collègues dans la sous-région ainsi que nos collaborateurs du développement tels que la Cmdt.

J'ose penser que pendant huit ans de collaboration, nous avons fait des travaux de qualité qui ont porté leurs fruits et bénéficié aux agriculteurs de la région. J'espère que durant les quatre jours à venir, nous aurons l'occasion de vous les présenter. Encore une fois, je vous souhaite la bienvenue à cet atelier.

Merci.

## Allocution d'ouverture

O. NIANGADO

Directeur général de l'Ier  
Mesdames, Messieurs,

Je me joins au Dr S. K. Debrah pour souhaiter la bienvenue au Mali aux nouveaux participants du Burkina Faso et de la France, et une bonne poursuite de leur séjour aux « anciens » du Cameroun, de Côte d'Ivoire, de l'Inde, du Nigeria, du Tchad et du Togo.

C'est en effet la deuxième semaine de suite qui est consacrée au sorgho ici au Cres, après l'assemblée générale du réseau sorgho qui s'est tenue ici même la semaine dernière. Cela traduit bien l'importance de cette culture dans nos pays.

Car l'agriculture constitue le secteur dominant de l'économie de tous les pays d'Afrique de l'Ouest et du Centre où elle occupe 80 % de la population active. Une grande partie des activités rurales est consacrée aux cultures vivrières, parmi lesquelles le sorgho occupe une grande place, puisqu'il y est cultivé sur dix millions d'hectares, avec des rendements, il faut le reconnaître, encore trop bas pour assurer un approvisionnement sûr de nos populations.

C'est dans cette optique qu'un programme régional d'amélioration du sorgho a été mis en place par l'Icrisat en 1985. Son objectif final était de proposer aux agriculteurs de la région un ensemble de techniques et semences améliorées en vue de contribuer à l'amélioration des systèmes de culture à base de sorgho.

Ce programme est entré dans une phase décisive en 1988, avec l'installation progressive au Nigeria, puis au Mali, de deux équipes de chercheurs. C'est en 1989 que l'implication du Cirad dans la recherche sur le sorgho en Afrique de l'Ouest, est entrée, elle aussi, dans une phase décisive lorsque trois chercheurs de cet organisme (un agronome, un sélectionneur et un entomologiste) ont rejoint le malherbologiste déjà en place, rendant l'équipe du Mali réellement pluridisciplinaire, et le programme réellement conjoint.

Cela a été possible par le soutien financier du ministère français de la coopération qui, pendant huit ans, a financé les quatre volets du programme confiés à l'équipe française.

C'est en fait à la fois avec plaisir et une certaine tristesse que je me joins à vous pour ouvrir cet atelier de restitution des travaux de recherche du programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad.

Plaisir, car je suis convaincu que nous aurons, tout au long de ces quatre journées, l'occasion de voir présentés des travaux de qualité, et que nous aurons des débats fructueux. Ainsi, je vous rappellerai que le principal objectif du programme d'amélioration variétale était la sélection de variétés à haut rendement adaptées à une culture peu intensifiée en zones soudaniennes et nord-guinéenne, en utilisant au maximum les variétés locales. Sachez aussi que les programmes d'entomologie et sur le *Striga* visaient à accroître nos connaissances sur d'importants ravageurs de la culture, et à réduire leurs dégâts par la lutte intégrée, enfin, que le programme d'agronomie a mis l'accent sur l'étude des problèmes d'acidité des sols, et de maintien de leur potentiel productif.

Tous ces thèmes et disciplines sont prioritaires pour l'Ier, et certaines recherches, dont vous verrez les résultats exposés, ont été conduites en collaboration avec l'Ier.

Tristesse, car tout en remerciant vivement le ministère français de la coopération, par l'intermédiaire de son représentant, qui a accordé, puis renouvelé par deux fois sa confiance à l'équipe du Cirad basée au Mali, en assurant trois phases de financement, pendant plus de huit années, nous devons constater que ce financement arrive à son terme, alors qu'en dépit des progrès considérables accomplis, les besoins de recherche restent immenses.



Qu'il me soit permis de remercier très sincèrement nos partenaires de l'Icrisat et du Cirad, et les organisateurs et sponsors de cet atelier, dont je salue l'initiative. La participation des décideurs et des structures de développement à cet atelier lui confère une importance spéciale.

Elle est une manifestation tangible que celui-ci est résolument tourné vers l'avenir. Vous avez, certes, fait de nombreux pas dans ce sens en associant plusieurs partenaires à vos recherches, ceux des programmes nationaux, ainsi que le personnel de vulgarisation, sans oublier les paysans, et en mettant l'accent sur la formation, point sur lequel nous saluons particulièrement les efforts consentis par l'équipe de Samanko.

Tout en souhaitant plein succès à vos travaux, je déclare ouvert l'atelier de restitution des travaux de recherche du programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad.

# **P**résentation du programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad

**S. K. DEBRAH**

Représentant de l'Icrisat au Mali  
Icrisat, BP 320, Bamako, Mali

## **Historique**

La collaboration entre l'Icrisat et le Cirad en matière de recherche sur le sorgho est entrée dans une phase décisive en 1989 suite à l'intégration d'une équipe du Cirad dans le programme régional de l'Icrisat à Bamako.

## **Objectifs du programme**

Les objectifs du programme sont de proposer aux paysans de la région un ensemble de techniques et de semences améliorées en vue de contribuer à l'amélioration des systèmes à base de sorgho et de contribuer à la formation des chercheurs et des techniciens dans les Snra.

## **Les sous-programmes et les projets de recherche**

Le mode opératoire du programme a été établi sur la base d'une programmation conjointe et dans le cadre d'une équipe réellement pluridisciplinaire : tout d'abord, sous forme de huit sous-programmes de recherche, de 1989 à 1993, puis, sous forme de projets suivant le plan à moyen terme (Mtp) de l'Icrisat de 1993 à 1997, avec passage en janvier 1997 de 22 à 12 projets.

De 1989 à 1993, les sous-programmes de recherche (figure 1) et leurs coordinateurs ont été les suivants :

- amélioration du sorgho (Cirad) : C. Luce et J. Chantereau ;
- amélioration du sorgho (Icrisat) : K.V. Ramaiah ;

- phytopathologie (Icrisat) : M.D. Thomas ;
- entomologie (Cirad) : A. Ratnadass ;
- agronomie (Cirad) : P. Salez, F. Martin, J. Gigou ;
- malherbologie (Cirad) : G. Hoffmann ;
- agro-économie (Icrisat) : A. Adesina, S. K. Debrah ;
- amélioration du mil, zone de transition (Icrisat) : S. N. Lohani.

Dans le cadre du Mtp de l'Icrisat (1994-1998), 29 systèmes de production d'Asie, Afrique et Amérique latine ont été définis, dont six en Afrique de l'Ouest et du Centre :

- zone de transition (sahélo-soudanienne) : Ps 13 ;
- zone nord-soudanienne : Ps 14 ;
- zone sud-soudanienne : Ps 15 ;
- zone nord-guinéenne : Ps 16 ;
- zone humide/forestière : Ps 17 ;
- zone de culture de contre-saison : Ps 18.

Sur les 22 projets de recherche, 15 portent sur les 5 cultures de l'Icrisat, 4 sur les systèmes de production et 2 sont transversaux (socio-économiques).

Depuis 1993, les chercheurs du programme conjoint Icrisat-Cirad sont impliqués dans huit des 22 projets (figure 2). Le nombre de projets est passé de 22 à 12 depuis janvier 1997, suivant les changements en personnel et en financements.

## **Les travaux en socio-économie**

Le sous-programme a été créé en 1989 pour fournir un appui des sciences sociales aux chercheurs spécialistes en amélioration de la culture intervenant dans le cadre du programme conjoint, au moyen de recherches propres, et par la synthèse des travaux relevant de l'amélioration du sorgho.

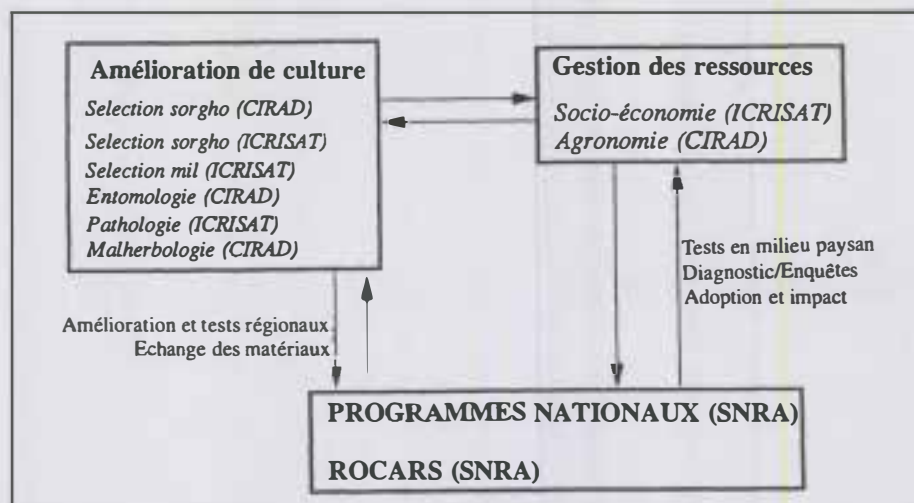


Figure 1. Programmes et mode d'opérations de recherche, Samanko (1989-1993).

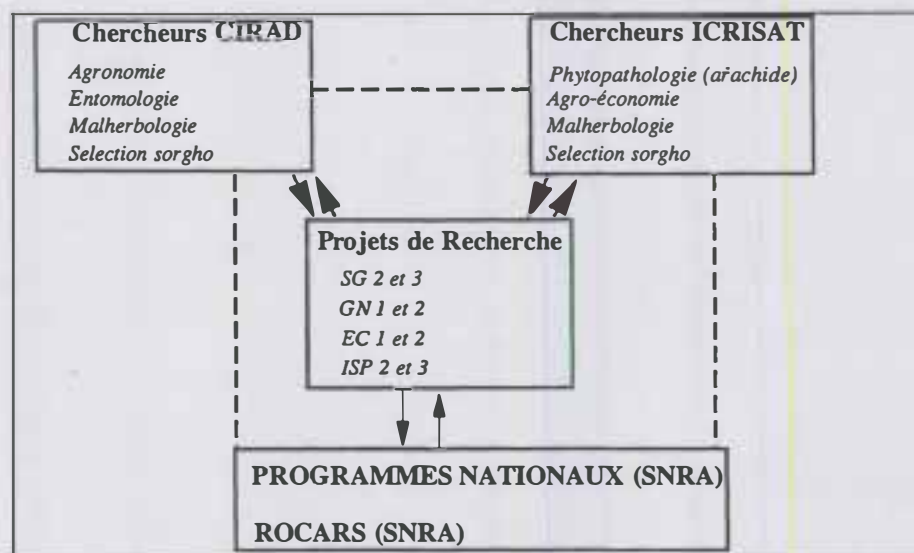


Figure 2. Projets et mode d'opération de recherche, Samanko (1994-1996).

## Points saillants des recherches (1989-1993)

Entre 1989 et 1993, les recherches ont été particulièrement orientées sur des travaux de type diagnostic, à l'échelle du village, à partir de l'analyse des contraintes dans plusieurs villages et sur des vérifications de la technologie en milieu réel : variétés, fertilisation et arrangement spaciaux ; appréciation des paysans sur les caractéristiques post-récolte de variétés prometteuses.

Des études particulières ont porté sur l'évaluation de la motivation des paysans à investir dans l'herbicide 2,4-D pour la lutte contre le *Striga* au Mali, et sur l'analyse des revenus générés par les femmes à partir de la fabrication traditionnelle de bière de sorgho au sud du Mali.

## Points saillants des recherches (1994-1997)

Au cours de cette période, les orientations de recherches ont privilégié cinq projets (figure 2) :

- le projet sorgho Sg2 qui concerne les contraintes à l'adoption des variétés caudatum dans la région de Kolokani ;
- les projets systèmes intégrés Isp 2 et 3 qui portent sur la caractérisation des systèmes de production, l'évaluation de variétés prometteuses par les paysans et le niveau d'adoption de technologies d'amélioration de la fertilité du sol ;
- le projet socio-économique Econ 1 qui s'intéresse aux tendances et perspectives mondiales pour le sorgho et le mil, et à la compétitivité du sorgho et du mil en zones sud-soudanienne et nord-guinéenne ;
- le projet socio-économique Econ 2 dont l'objectif est l'évaluation de l'impact économique de variétés de sorgho et de mil dans un choix de pays.

# **L**es activités de l'équipe cirad du programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad : points saillants (1989-1997)

A. RATNADASS, J. CHANTEREAU, J. GIGOU, P. GRARD

Programme conjoint sorgho Icrisat-Cirad, BP 320, Bamako, Mali

En dépit des changements intervenus au cours des huit dernières années, autant à l'Icrisat qu'au Cirad, ce qui a caractérisé cette période, c'est la présence continue à Samanko de quatre sous-programmes de recherche ayant à leur tête un chercheur du Cirad (Irat, puis Cirad-ca).

Cela a été possible grâce à un financement continu assuré par le ministère français de la coopération (marchés Fac d'intérêt général d'un montant total d'environ dix millions de francs, plus le salaire d'un des quatre chercheurs de l'équipe) et directement par le Cirad (budget civil de recherche et de développement, essentiellement pour les salaires des trois autres chercheurs, soit près de trois millions de francs de fonctionnement en tout).

Les présentations générales qui ont précédé ont permis de situer comment cette équipe et ses activités s'intégraient avec l'équipe et les activités de l'Icrisat au Mali, mais aussi de façon plus générale, avec les programmes et projets de recherche sur le sorgho du Cirad et de l'Icrisat sur le plan mondial et ouest et centre africain.

L'équipe s'est donné pour but d'apporter une contribution significative au développement de la production de sorgho en Afrique de l'Ouest et du Centre, par la création de variétés productives, résistantes à divers stress et présentant une bonne qualité de grain, par le développement de systèmes de culture à base de sorgho utilisant efficacement les ressources naturelles et assurant le maintien du potentiel productif, mais aussi par la stimulation de la coopération scien-

tifique régionale et le renforcement des systèmes nationaux de recherche.

Cette intervention portera sur les objectifs des quatre sous-programmes, et sur les points saillants en matière d'activités de l'équipe Cirad, dans les domaines du développement des ressources humaines (formation) et autres formes d'appui aux structures nationales de la région. Les résultats de l'équipe, en termes de recherche et de développement, obtenus avec nos différents partenaires font l'objet de présentations tout au long des six sessions qui vont suivre.

## **I** Amélioration variétale

L'objectif du programme est la sélection de variétés de sorgho à rendement amélioré, adaptées à un niveau d'intensification faible, pour les zones soudanienne et nord-guinéenne (donc à cycles intermédiaire et long). L'accent est mis sur l'utilisation de matériel local guinea photosensible, en vue d'obtenir deux types de matériel :

- un matériel guinea plus productif et tallant moins, à tige raccourcie et renforcée, résistant à la verse, et de type *Tan* ;
- un matériel caudatum à panicule compacte rendu plus photosensible, à taille réduite, avec le caractère *stay-green*, une bonne qualité de grain et un niveau raisonnable de résistance aux ravageurs.



La responsabilité du sous-programme d'amélioration variétale a été assurée successivement par C. Luce (1989-1993) et J. Chantereau (1993-1997).

## Entomologie

Les principaux objectifs du programme sont :

- la détermination du statut des principaux ravageurs du sorgho en Afrique de l'Ouest et du Centre ;
- l'identification de mesures culturales permettant de réduire l'infestation du sorgho par les ravageurs dans les systèmes de culture d'Afrique de l'Ouest et du Centre ;
- le développement et la standardisation de méthodes efficaces d'élevage de masse (foreurs des tiges) et d'infestation artificielle et de criblage (foreurs et punaises) ;
- l'identification de diverses sources présentant une résistance stable aux foreurs et/ou aux punaises, la génération de connaissances sur les facteurs/mécanismes et la génétique/hérédité de ces résistances, et l'utilisation des sources de résistance et stratégies de sélection adaptées pour créer des variétés de sorgho combinant des caractéristiques agronomiques acceptables avec des niveaux satisfaisants de résistance aux foreurs et/ou aux punaises.

La responsabilité du sous-programme d'entomologie a été assurée de façon continue par A. Ratnadass de 1989 à 1997.

## Malherbologie

Les principaux objectifs du programme sont :

- l'inventaire des plantes parasites et de leurs hôtes en Afrique de l'Ouest et du Centre ;
- la caractérisation du biotope de ces espèces par l'étude des relations entre plantes parasites, plantes cultivées et autres adventices dans le système de culture ;
- la détermination de l'importance des plantes parasites dans les principales zones agroécologiques du Mali par : (i) enquêtes auprès des producteurs ; (ii) cartographie de leur répartition dans certains villages ; (iii) identification des principaux facteurs abiotiques limitant ou favorisant leur extension ;
- l'identification de méthodes de lutte efficaces et peu coûteuses.

La supervision du sous-programme de malherbologie a été assurée successivement par G. Hoffmann (1988-1994) et P. Grard (1994-1997).

## Agronomie

Jusqu'à 1992, le sous-programme a mis l'accent sur l'étude des associations sorgho-légumineuses, essentiellement avec des variétés améliorées non photopériodiques.

Depuis 1993, le programme s'est réorienté pour étudier le maintien de la fertilité en champs paysans.

La responsabilité du sous-programme d'agronomie a été assurée successivement par P. Salez (1989-1992) et J. Gigou (1993-1997), la transition ayant été assurée par F. Martin (1991-1993).

## Développement des ressources humaines

Une part significative des activités des sous-programmes du Cirad a été consacrée au renforcement des ressources humaines en Afrique de l'Ouest et du Centre, par la formation. Ces activités se sont réalisées sous la forme d'encadrements de stages de fin d'études d'étudiants en agriculture, de formations de chercheurs, techniciens et agents de développement lors de sessions de formations, de formations « sur le tas », d'accueil de chercheurs et de techniciens à Samanko, ou de missions d'appui de chercheurs du Cirad sur le terrain.

Ainsi, depuis 1989, une quarantaine d'étudiants d'écoles d'agriculture (essentiellement de l'Ipr de Katibougou) ont effectué leur stage de fin d'études (d'une durée de six à huit mois) sous le contrôle d'un chercheur du Cirad à Samanko (et ont tous soutenu leur rapport ou leur mémoire avec succès).

Les formations « sur le tas » (sur financement du Cirad ou d'autres partenaires) ont concerné des chercheurs ou techniciens du Burkina Faso, de la Côte d'Ivoire, du Mali, de la Mauritanie, du Tchad. Des missions d'appui de chercheurs du Cirad (également sur financement du Cirad ou d'autres partenaires) ont été effectuées au Burkina Faso, en Côte d'Ivoire, en Mauritanie, au Sénégal, au Togo.

Les chercheurs du Cirad ont également participé comme personnes-ressources à divers cours de formation organisés par l'Icrisat ou le Rocars, à Samanko ou ailleurs.

En malherbologie et en agronomie, les formations se sont adressées essentiellement aux agents de la Cmdt et de l'Espgrn de l'Ier.

Dans les domaines de l'amélioration variétale et de l'entomologie, le Cirad a financé ou co-financé l'organisation de sessions de formations suivantes, à

Samanko et pour lesquelles les chercheurs du Cirad se sont très fortement impliqués :

- atelier de formation en entomologie appliquée (co-organisateurs et sponsors : Icrisat, Ier et Mcac) : 26 septembre-7 octobre 1994 : 7 participants de 3 pays ;
- atelier de formation sur les variétés locales de sorgho (co-organisateur et sponsor : Icrisat) : 10-14 octobre 1994 : 17 participants de 9 pays ;
- atelier de formation sur les insectes ravageurs du sorgho (co-organisateurs et sponsors : Rocars et Icrisat) : 14-23 octobre 1996 : 10 participants de 10 pays.

## Animation de la coopération régionale

Outre les missions d'appui citées ci-dessus, les recherches menées en collaboration et les échanges de matériel végétal, en particulier, avec l'Ier, l'Inra,

l'Idessa, l'Isra et l'Incv, les chercheurs de l'Icrisat ont participé et contribué à divers titres à plusieurs séminaires, ateliers ou réunions régionales organisés sous l'égide de l'Icrisat et du Cirad, mais également de l'Ier, de l'Insa, du Pascon et du Rocars. Ils ont régulièrement présenté ou publié les résultats de leurs recherches.

La contribution des chercheurs du Cirad aux activités du Rocars mérite une mention particulière. D'une part, le Cirad est membre associé du réseau et participe en tant qu'observateur aux réunions de ses instances. D'autre part, les chercheurs de l'équipe Cirad de Samanko, au même titre que les collègues de l'Icrisat, participent activement aux activités de formation et visites de terrain du réseau, groupes de travail et de discussion, y compris dans la coordination d'essais régionaux. Cette contribution a d'ailleurs été reconnue par la distinction accordée à notre collègue J. Chanterreau, en même temps qu'à nos collègues S. K. Debrah et D. S. Murty.

Session I

# **Génétique et amélioration variétale**



# **Influence of night temperature on photoperiod response of a West African guinea sorghum landrace**

M. VAKSMANN<sup>1</sup>, J. CHANTEREAU<sup>2</sup>, I. BAHMANI<sup>3</sup>,  
M. AG HAMADA<sup>2</sup>, M. CHARTIER<sup>4</sup>, R. BONHOMME<sup>4</sup>

1. Icr-Cirad, BP 1813, Bamako, Mali

2. Programme conjoint sorgho Icrisat-Cirad, BP 320, Bamako, Mali

3. Dairy Research Corporation, Private bag 31 23, Hamilton, New Zealand

4. Inra, Unité de bioclimatologie, 78850 Thiverval-Grignon, France

**Abstract** — The vegetative phase of a West African landrace (Is 7680) was studied by using different sowing dates during three years at the Samanko station (Mali). During the rainy seasons, Is 7680 has shown the photoperiod response of a short-day plant. During the off-seasons, though the photoperiods were optimal for a quick panicle initiation, its vegetative phase during the off-seasons was extended. On the basis of field data, photoperiod effect on the thermal duration of the vegetative phase was modeled by two different methods: i) by using the mean daily temperatures following the Ceres procedure ii) by using a summation of the daily minimum night temperatures. The first method did not succeed in establishing the genetic parameters of Major's photoperiod response pattern (Bvp: base vegetative phase, Mop : maximum/minimum optimal photoperiod, slope of photoperiod sensitivity). The second method satisfactorily fitted the field data to Major's pattern. The results show that Is 7680 is a very photoperiod cultivar whose panicle initiation needs high night temperatures. Due to the fact that the night temperatures are low during the off-season at Samanko, the flowering of Is 7680 is delayed at that time. This kind of photoperiod reaction could be shared by the majority of the West African guinea landraces.

**Résumé** — Influence de la température nocturne sur la réponse photopériodique d'un écotype guinea ouest-africain. La phase végétative d'un écotype guinea burkinabé (Is 7680) a été étudiée durant trois années à la station de Samanko (Mali) à partir de semis réalisés à différentes périodes de l'année. En saison des pluies, Is 7680 a réagi comme une plante photopériodique de jours courts. En revanche, il a allongé son cycle en contre-saison froide alors qu'il poussait sous les photopériodes les plus favorables à une rapide induction florale. A partir de données expérimentales, l'effet de la photopériode sur la durée thermique de la phase végétative de Is 7680 a été modélisé de deux façons différentes : 1) selon la procédure Ceres à partir d'une sommation des températures moyennes quotidiennes ; 2) selon une sommation des températures minimum nocturnes quotidiennes. La première méthode n'a pas permis d'établir, pour Is 7680, les paramètres génétiques du développement

phénologique des plantes photopériodiques tels que Major et Vergara les ont définis (Bvp : Base vegetative phase, Mop : maximum/minimum optimal photoperiod, pente de photosensibilité). La seconde méthode a ajusté de façon satisfaisante les données expérimentales au schéma de Major et Vergara. Les résultats montrent que Is 7680 est un cultivar très photopériodique dont l'induction florale a besoin de températures nocturnes élevées. C'est la non-obtention de telles températures à Samanko en contre-saison froide qui explique l'allongement du cycle végétatif de Is 7680. Ce type de réaction à la photopériode et aux températures nocturnes serait commun à la plupart des sorghos guinea d'Afrique de l'Ouest.

In order to understand the flowering of field crops, Vergara and Chang (1976) and Major (1980) modeled the effects of photoperiod on the duration of the vegetative phase. This model involves three important genetic constants: base vegetative phase (Bvp), maximum/minimum optimal photoperiod (Mop) and photoperiod sensitivity. For a given cultivar, the Bhv is defined as the shortest possible time from seedling emergence to floral initiation under optimal photoperiods. The Mop is defined as the threshold photoperiod above or below which the time to floral initiation will be influenced by photoperiod in short- and long-day species, respectively. Under non optimal photoperiods, there are delays in flowering with photoperiod change. The photoperiod sensitivity is quantified as the slope of the response of flowering to change of photoperiod. Thus, the photoperiod sensitivity has units of vegetative delay in floral initiation per hour increase in photoperiod.

Major's response patterns of crop to photoperiod has been used as the phenological component in the Ceres maize model which expresses the time to



panicle initiation in thermal units by accumulating a value representative of mean daily temperature. This approach has been successfully applied to selected lines of sorghum by Ritchie and Alagarswamy (1989) who presented a Ceres version for sorghum (Alagarswamy and Ritchie, 1991).

No such study has so far involved West African guinea landraces. These are of the short-day plant type during the rainy season. During the off-season, in their area of origin, they show a particular phenological behaviour of prolonged vegetative phase despite short days which are optimal for panicle initiation. Simultaneously, night temperatures significantly decrease with a daily thermal range much wider than in the rainy season. Cochemé and Franquin (1967) argued that these cool night temperatures accounted for the prolonged vegetative phase of guinea landraces. In our study, we considered a typical guinea sorghum landrace that was cultivated under natural conditions in Mali at different periods of the year and we undertook to model the duration of its vegetative thermal time according to Major's pattern. For this objective, we followed two different methods and compared their efficiency: the Ceres sorghum model method using mean daily temperatures and another method relating development to minimum night temperatures.

## Materials and methods

The guinea landrace used in this study was Is 7680 (Ssm 249 in the Cirad collection) a local variety from Burkina Faso named Pelogo. During three years (1994-1996), Is 7680 was sown on 18 different dates in the field at the Samanko research station in Mali (8°70' W, 12°33' N, altitude 345 m).

Plots consisted of one 6 m row with hills spaced at 0.30 m in the row and thinned to one plant per hill at about 10 days after seedling emergence. The plots received a standard level of fertilization and were irrigated when necessary.

For each sowing date, six random plants were observed for the number of leaves produced during the vegetative phase and the time to flag leaf emergence.

Maximum and minimum daily air temperatures under shade were measured in a meteorological shelter at the Samanko station.

In order to evaluate the date of panicle initiation, we considered the thermal time from sowing to flag leaf emergence. This thermal time was calculated by using the mean daily temperatures (Dtt) applied in the

Ceres sorghum model (Alagarswamy and Ritchie, 1991) :

$Dtt = (T_{max} + T_{min})/2 - 8^{\circ}C$  if  $T_{max} < 34^{\circ}C$  and  $T_{min} > 8^{\circ}C$

$Ttmp = T_{min} + Tmfac(l) * (T_{max} - T_{min})$  if  $T_{max} > 34^{\circ}C$  or  $T_{min} < 8^{\circ}C$

$Dtt = Dtt + (Ttmp - 8^{\circ}C)/8$  if  $8^{\circ}C < Ttmp < 34^{\circ}C$

$Dtt = Dtt + [(34^{\circ}C - 8^{\circ}C) * (1 - (Ttmp - 34^{\circ}C)/18)]/8$  if  $34^{\circ}C < Ttmp < 52^{\circ}C$

with :

$T_{max}$  = maximum daily temperature

$T_{min}$  = minimum daily temperature

$Tmfac(l) = 0.931 + 0.114 * l - 0.0703 * l^2 + 0.053 * l^3$  with  $l$  varying from 1 to 8 following each 3 h period through the day.

The daily summation of Dtt from sowing to flag leaf emergence gave the thermal time to flag leaf (Dttfl).

According to Muchow and Carberry (1990) who found a ratio of 0.6 between plastochron and phyllochron in sorghum, the calendar date of panicle initiation was established at the day situated at  $0.6 \times$  the Ceres thermal time Dttfl.

For each sowing, the effective photoperiod used to model the photoperiod response of Is 7680 was assumed to be the length of the day at the estimated date of panicle initiation. The length of this day was calculated for Samanko following the model of Forsythe *et al.* (1995) for a solar elevation  $> -6$  degrees which determines the duration of biological active day for photosensitive plants according to Aitken (1974).

To evaluate the effects of photoperiod on duration of the vegetative phase according (to Major's photoperiod response pattern), two methods were used for computing the vegetative thermal time from sowing to panicle initiation.

The first method calculated this time as  $0.6 \times Dttfl$  (the Ceres thermal time calculated from sowing to flag leaf). The result was the Dttini.

The second method took into account night temperatures only, through a summation of daily minimum temperatures:

$$Nttini = \sum_{i=1}^n (T_{i,min} - T_{base})$$

where Nttini was the thermal time accumulated over  $n$  days from sowing to the estimated day of panicle initiation,  $T_{i,min}$  = daily minimum temperature. When  $T_{min} < T_{base}$  the daily contribution was null. The  $T_{base}$  was estimated by means of least coefficient of variation (Cv) when  $T_{base}$  was changing by  $1^{\circ}$  from 0 to  $10^{\circ}C$ .

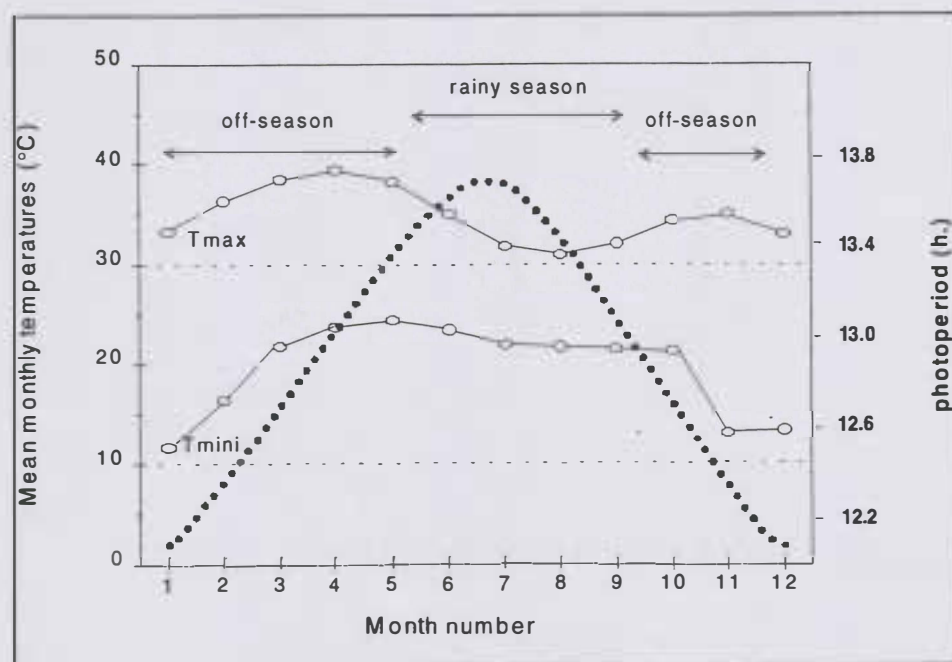
**Table I.** Environment and response parameters pertaining to the vegetative phase of Is 7680 sown at different dates at Samanko from 1994-1996.

Sowing date	Sowing date in julian day	Number of days from sowing to flag leaf	Number of leaves	Phyllochron (day/leaf)	Mean daily temperature with mean daily maximum and minimum in brackets (sowing to flag leaf) (°C)
17/06/94	168	78.3	26.5	3.0	26.6 ° (31.1°-21.1°)
01/07/94	182	68.0	23.5	2.9	26.3 ° (30.6°-22.0°)
15/07/94	196	58.3	21.2	2.8	26.3 ° (30.5°-22.1°)
29/07/94	210	52.2	19.4	2.7	26.2 ° (30.3°-22.1°)
09/09/94	252	44.4	14.8	3.0	26.5 ° (31.0°-22.0°)
16/12/94	350	118.0	27.0	4.4	25.0 ° (34.9°-15.1°)
03/02/95	34	71.5	23.5	3.0	28.1 ° (37.9°-18.3°)
23/06/95	174	75.5	27.1	2.8	27.1 ° (31.9°-22.3°)
01/07/95	182	72.1	24.0	3.0	27.1 ° (32.0°-22.2°)
09/07/95	190	66.0	23.8	2.8	26.9 ° (31.8°-22.0°)
20/07/95	201	60.6	21.0	2.9	27.0 ° (31.9°-22.1°)
11/09/95	254	44.2	15.8	2.8	27.5 ° (33.4°-21.6°)
30/11/95	334	112.5	26.0	4.3	25.4 ° (35.1°-15.7°)
01/02/96	32	71.2	20.7	3.4	28.3 ° (37.7°-18.9°)
13/06/96	165	80.2	28.0	2.9	27.2 ° (31.5°-22.8°)
01/07/96	183	65.6	23.2	2.8	27.0 ° (32.2°-21.8°)
22/07/96	204	61.5	20.0	3.1	26.2 ° (30.8°-21.6°)
18/10/96	292	58.0	16.2	3.6	24.5 ° (34.8°-14.2°)

## Results and discussion

The annual variations of the daily photoperiod and minimum/maximum temperatures averaged for the 1995 and 1996 years at Samanko are presented in figure 1. The transition from the rainy season to the off-season is marked by the increase of the thermal range associated with decreasing of the daily minimum temperatures.

The sowing dates of Is 7680 at Samanko ranged from 17 June 1994 to 18 October 1996 (table I). Some of these dates occurred in the off-season. Sowings done in November or December when the temperatures were the coolest corresponded to the longest vegetative phase duration. When still in the off-season but under warmer temperatures as in February, the vegetative phase was shortened. The shortest vegetative



**Figure 1.** Annual variation of daylength and maximum + minimum temperatures (averaged during each month at Samanko from 1995-1996).

phase occurred in September sowings when photoperiods were already short and temperatures still high .

Leaf number responds to change in sowing date in the same way as vegetative phase duration (table I). Nevertheless, the increase in leaf number observed during the off-season is comparatively less important than the increase observed in the duration of the vegetative phase.

The phyllochron calculated by the number of days to produce one leaf is negatively related to temperature. It tends to increase when mean daily temperature decreases as in the off-season (table I).

The pattern of response of the vegetative phase of Is 7680 to sowing dates is shown by figure 2. According to the sowing dates expressed in julian day of year, the duration of the vegetative phase measured by the number of days from sowing to flag leaf emergence ranges more than twofold (44 days at 254th julian day in September vs 118 days at 350th julian day in December). During the rainy season (150-210th julian day), the photoperiod response of Is 7680 is clearly exhibited by the shortening of its vegetative stage. The substantial increase in the duration of the vegetative phase at the end of the year cannot be due to the photoperiods which are the shortest of the year.

For each sowing date, table II presents the steps to estimate the date of panicle initiation and the variables used to model the photoperiod response of Is 7860 with two methods of calculating vegetative thermal time.

The vegetative thermal time (Dttini) calculated following Ceres model do not fit the scheme of photoperiod response developed by Major (1990) (figure 3). The scattering of off-season points with short photoperiods does not correspond to the short Bhv expected for the guinea landrace Is 7680 under short-day conditions.

The vegetative thermal time calculated with the daily minimum temperatures (Nttini) gives different results. To compute the sum of the night temperatures, the tests of different Tbase (base temperature) consider the cv attached to off-season data from September to February. The thermal times to panicle initiation calculated for these data are supposed to define the Bvp. We used the Tbase of 6° which gives the smallest Cv value (table III).

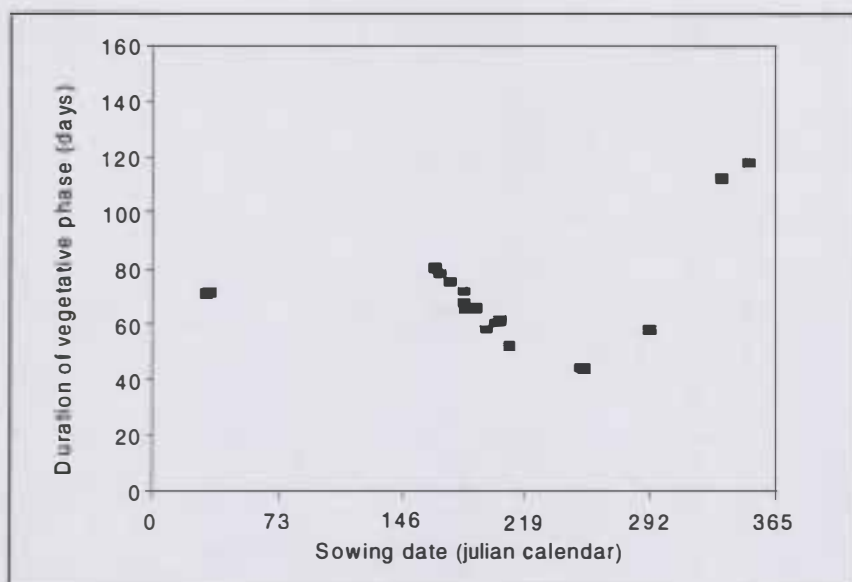
With Tbase = 6°, the vegetative thermal times calculated with daily minimum temperatures are nearly in accordance with short-day plant reaction to photoperiod all year long. The fitting of data to Major's pat-

**Table II.** Estimation of dates, photoperiods and thermal times (following two methods) at panicle initiation of Is 7860 sown at different dates in Samanko from 1994-1996. The thermal time using minimum temperatures (Nttini) is presented calculated with two different Tbases.

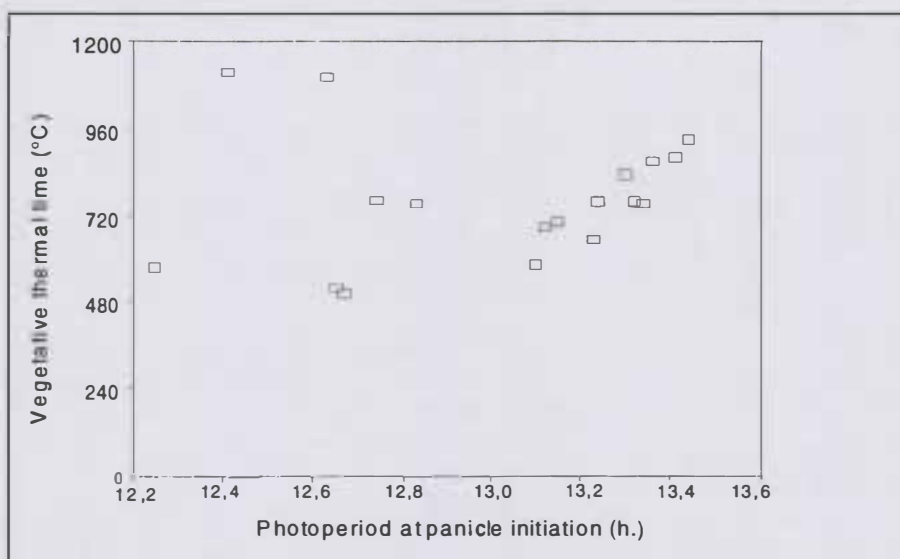
Sowing date	Dttini (1)	Date to achieve Dttini (2)	Photoperiod at date to achieve Dttini (hours) (3)	Nttini Tbase = 0° (4)	Nttini Tbase = 6° (5)
17/06/94	883 °	02/08/94	13.41	1023°	747°
01/07/94	759 °	11/08/94	13.32	902 °	656 °
15/07/94	651 °	19/08/94	13.23	779 °	569 °
29/07/94	584 °	30/08/94	13.10	709 °	517 °
09/09/94	505 °	06/10/94	12.67	594 °	432 °
16/12/94	1104 °	04/03/95	12.63	908 °	442 °
03/02/95	753 °	21/03/95	12.83	735 °	459 °
23/06/95	871 °	07/08/95	13.36	1016 °	746 °
01/07/95	834 °	13/08/95	13.30	964 °	706 °
09/07/95	760 °	18/08/95	13.24	893 °	653 °
20/07/95	701 °	26/08/95	13.15	818 °	596 °
11/09/95	520 °	08/10/95	12.65	595 °	433 °
30/11/95	1118 °	10/02/96	12.41	981 °	549 °
01/02/96	762 °	14/03/96	12.74	783 °	537 °
13/06/96	929 °	30/07/96	13.44	1044 °	762 °
01/07/96	753 °	09/08/96	13.34	852 °	618 °
22/07/96	686 °	28/08/96	13.12	805 °	583 °
18/10/96	575 °	21/11/96	12.25	528 °	324 °

(1) Ceres sum of temperatures from sowing to estimated panicle initiation (0.6 x Dttfl) (°C).  
 (2) Estimated date of panicle initiation.  
 (3) In hours and decimals.  
 (4) Vegetative thermal time by sum of minimum temperatures (sowing to panicle initiation) (°C).  
 (5) Vegetative thermal time by sum of minimum temperatures (sowing to panicle initiation) (°C).





**Figure 2.** Duration of vegetative phase (from sowing to flag leaf emergence) of Is 7680 sown at different dates in Samanko (1994-1996).



**Figure 3.** Thermal time to panicle initiation calculated following Ceres model (Dttini) as influenced by daylength at panicle initiation of Is 7680 cultivar sown in Samanko (1994-1996).

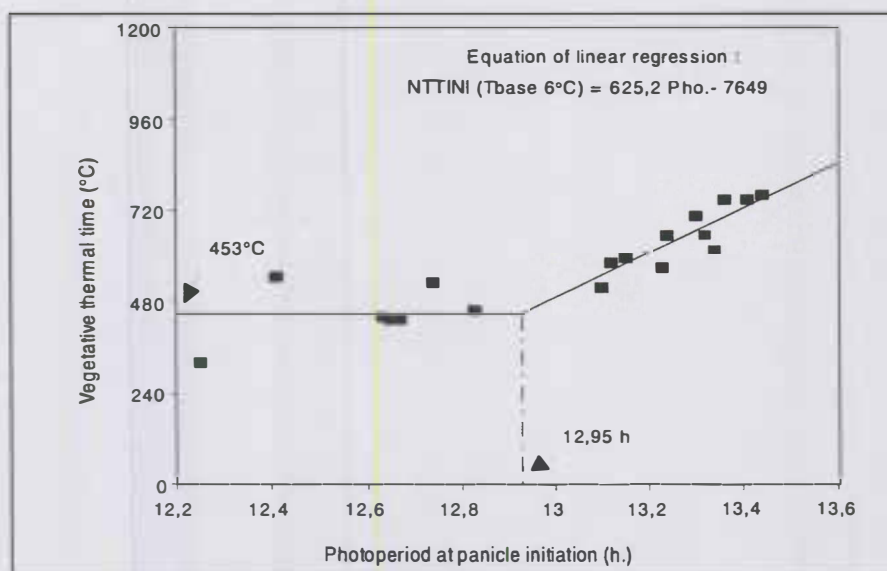
tern is much more satisfactory (figure 4). In the rainy season the vegetative thermal time of Is 7680 reacts to small differences in daylength by decreasing linearly to reductions of the photoperiod. In the off-season the vegetative thermal times is at its minimum and is roughly stable despite a high variability in calendar times from sowing to flag leaf emergence.

The improvement in modelling the photoperiod response is mainly for the off-season. Nevertheless, there is a poor adjustment of three critical points of the Bvp. One possible explanation for the observed biases stems from differences in temperature between the experimental plots used to implant Is 7680 and the meteorological shelter in Samanko station. Because the daily minimum were close to the Tbase in the off-season small temperature differences would be enough to cause marked differences in the duration of vegetative phase of Is 7680. The recording of temperatures at Samanko station might have also

**Table III.** Estimation of base temperature for Is 7680 cultivated during the off-season in Samanko (seven sowings from September to February in 1994-1996).

Base temperature (°C)	Thermal time average (sum of minimum temperatures) (°C)	Cv (%)
0°	732 °	21.6
1°	685 °	20.5
2°	640 °	19.4
3°	592 °	18.2
4°	546 °	16.9
5°	499 °	15.9
6°	453 °	15.2
7°	407 °	15.4
8°	362 °	16.8
9°	319 °	19.7
10°	278 °	23.8

**Figure 4.** Thermal time to panicle initiation calculated by using night temperatures (Nttini) as influenced by daylength at panicle initiation of Is 7680 cultivar sown in Samanko (1994-1996).



been subject to small errors. Further, the number of plants observed per plot was low.

The research carried out underlines on the importance of night temperatures. Contrary to vegetative thermal time calculated following Ceres approach, vegetative thermal time of Is 7680 calculated with daily minimum temperatures indicates a classical photoperiod short-day response similar to Major's pattern. Thus, it is possible to estimate the three genetic constants for Is 7680: Bvp = 453°C, Mop = 12,95 h and photoperiod sensitivity = 625°C days/h. Tbase for the calculation of Bvp is 6° C.

The results obtained from a typical guinea sorghum landrace could be valid for the majority of the West African guinea landraces. On the basis of field observations, many guinea landraces appear to have a similar short-day photoperiod reaction and cold sensitivity in off season with Tbase close to daily minimum temperatures as is the case for Is 7680.

As suggested by Cochemé and Franquin (1967), taking account of the night temperature gives encouraging results for modeling the photoperiod response of guinea sorghums. Biologically, the importance of night temperature in panicle initiation is logical because night is the active period in the diurnal cycle for flowering of short-day plants such as sorghum (Horie, 1994). Our approach differentiates temperature effects for growth and development processes, each one reacting respectively to daily and night temperatures. For more precise results it is necessary to verify if the time to panicle initiation is 60% of thermal time from sowing to flowering in photoperiod sensitive sorghum. It will also be necessary to measure temperature on the experimental plots themselves and consider mean daily night temperature rather than daily minimum temperature.

## References

- AITKEN Y., 1974. Flowering time, climate and genotype. Melbourne University Press, Australia, 193 p.
- ALAGARSWAMY G., RITCHIE J.T., 1991. Phasic development in Ceres-Sorghum Model. In Predicting Crop Phenology. (ed) Hodges T., Crc Press, Boca Raton, p. 143-152.
- COCHEME J., FRANQUIN P., 1967. Adaptation des cultures annuelles aux conditions climatiques. In Une étude d'agroclimatologie de l'Afrique sèche au sud du Sahara en Afrique occidentale. Fao, Rome, Italie, p. 201-222.
- FORSYTHE W.C., RYKIEL E.J., STAHL R.S., HSIN-I WU, SCOTFIELD R.M., 1995. A model comparison for daylength as a function of latitude and day of year. Ecol. Modelling 80 : 87-95.
- HORIE T., 1994. Crop Ontogeny and Development In Physiology and Determination of Crop Yield. Eds : Boote, Benett, Sinclair, Paulsen. American Society of Agronomy, Madison, USA, p. 153-169.
- MAJOR D.J., 1980. Photoperiod response characteristics controlling flowering of nine crop species. Canadian Journal of Plant Science 60 : 777-784.
- MUCHOW R.C., CARBERRY P.S., 1990. Phenology and leaf development in a tropical grain sorghum. Field Crop Research 23 : 211-237.
- RITCHIE J.T., ALAGARSWAMY G., 1989. Simulation of Sorghum and Pearl Millet phenology. In "Modeling the growth and development of Sorghum and Pearl Millet". Research Bulletin n° 12, Icrisat, Patancheru A.P., India, p. 24-28.
- VERGERA B.S., CHANG T.T., 1976. The flowering response of the rice plant to photoperiod. A review of the literature. Irri, Los Baños, Philippines, 75 p.



# C

## Characterization of different temperature and photoperiod responses in African sorghum cultivars

J. CHANTEREAU<sup>1</sup>, M. VAKSMANN<sup>2</sup>, I. BAHMANI<sup>3</sup>,  
M. AG HAMADA<sup>1</sup>, M. CHARTIER<sup>4</sup>, R. BONHOMME<sup>4</sup>

1. Programme conjoint sorgho Icrisat/Cirad, BP 320, Bamako, Mali
2. Icr/Cirad, BP 1813, Bamako, Mali
3. Dairy Research Corporation, Private bag 3123, Hamilton, New Zealand
4. Inra, unité de bioclimatologie, 78850, Thiverval-Grignon, France

**Abstract** — On the basis of studies conducted in Mali, we modeled the photoperiod response of two sorghum landraces by using daily minimum night temperatures. The two landraces differ in origin and adaptation with one rainy season kafir cultivar from South Africa (Is 9508) and the other a post rainy season durra from Senegal. The results validate the assumption that photoperiod effects on the vegetative duration of sorghum is well explained by using the daily night temperatures for computing thermal time. Moreover, the model characterizes the two landraces. The kafir Is 9508 appeared to be photo-insensitive. Growing in Mali under shorter photoperiods than its area of origin, Is 9508 was never in a position to exhibit photoperiod sensitivity. On the other hand, the durra Ssm 973 appeared very photosensitive, decreasing its vegetative thermal time until the shortest days of year. This trait and a low sensitivity to the cold night temperatures explain the adaptation of this post-rainy durra to the off-season. The comparison of the african landraces Is 7680, Is 9508 and Ssm 973 shows that: i) varietal photoperiod and temperature responses were related to agronomic adaptation, ii) varietal photoperiod and temperature responses seem to be independant. This latter result indicates that different levels of temperature and photoperiod sensitivity can be combined in selected lines.

**Résumé** — Caractérisation de différentes réponses à la température et à la photopériode de cultivars africains de sorghos. La modélisation de la réponse photopériodique des sorghos en fonction des températures minimum quotidiennes nocturnes a été appliquée à deux variétés, cultivées au Mali, très différentes par leur origine et leur utilisation culturale : un cultivar pluvial kafir d'Afrique du Sud Is 9508 et un sorgho de décrue durra du Sénégal Ssm 973. Les résultats valident l'hypothèse que l'effet photopériodique sur la durée des cycles végétatifs des sorghos est bien expliqué par une prise en compte des températures nocturnes. De plus, le modèle caractérise les réactions des deux cultivars. Le kafir est apparu non photopériodique ; poussant au Mali sous des longueurs de jours courtes par rapport à celles de sa zone d'origine, ce sorgho n'a pas été en situation de montrer une éventuelle sensibilité aux variations de longueurs du jour. En revanche, le durra est apparu très photopé-

riodique en abaissant la durée thermique de son cycle végétatif même sous les jours les plus courts de l'année. Cette particularité, associée à un seuil bas de sensibilité aux températures nocturnes, expliquent son adaptation à la culture de décrue, culture de post hivernage. La comparaison des caractéristiques thermo-photopériodiques des cultivars guinea Is 7680, kafir Is 9508 et durra Ssm 973 montre que chacun est typé en fonction de ses aptitudes culturales. Il semble que la sensibilité à la photopériode s'établisse indépendamment de la sensibilité aux températures nocturnes. Ce résultat ouvre des perspectives pour la sélection de génotypes combinant différents niveaux d'expression de ces sensibilités.

Since sorghum was domesticated in Africa (Doggett, 1976), African sorghum landraces possess a great morphological diversity and include representatives of all the taxonomic groups of Harlan and de Wet (1972): the five basic races (bicolor, guinea, durra, caudatum and kafir) and the intermediate forms. The diversity of African cultivars is also high with respect to their agricultural uses. Sorghum is adapted to rainfed conditions with high or low rainfall, to irrigated conditions, to off-season cultivation as to high elevation areas. Because of the specific climatic constraints related to these agricultural uses, African sorghum landraces should have developed different kinds of temperature and photoperiod responses.

Little has been done to characterize them, however Miller *et al.* (1968) separated tropical and Us sorghums into five photoperiodic response classes on the basis of the critical photoperiod value. A recent study (Vaksmann *et al.*, 1998) showed that the photoperiod response of a West African guinea landrace (Is 7680) fits well to Major's pattern (Major, 1980) when the thermal time to panicle initiation is calculated by using daily minimum night temperatures. Thus, the

photoperiod response of Is 7680 appeared to be that of a short-day plant with sensitivity to cold night temperatures. We think that this kind of response is shared by most of the West African guinea sorghum landraces.

In this study carried out at Samanko, Mali, the method developed to model the photoperiod behaviour of Is 7680 was applied to two African cultivars presenting distinctive features in phenology: Is 9508 and Ssm 973 respectively belonging to the kafir sorghum race and the West African post-rainy season durra. The particularity of kafir cultivars which have a Southern African origin is to become very late during the off-season cultivation conducted in tropical conditions (Reddy and Prasada Rao, 1993). In traditional cropping, the West African post-rainy season sorghums are grown without irrigation during the dry season when water is subsiding in the floodplains and the soils are drying out toward the end of the year (Sapin and Reynard, 1968). Maturing entirely on sub-soil moisture, they must mature quickly in order to reproduce. Contrary to kafir sorghums, the post-rainy sorghums flower early in the off-season.

The objective of this study was to validate the method applied to guinea Is 7680 on the chosen kafir and durra cultivars, and then to characterize them by estimating the genetic components of Major's photoperiod response pattern: the Bvp (Base vegetative phase), the Mop (Maximum optimal photoperiod) and photoperiod sensitivity (Major, 1980). On the basis of the results, a better understanding of the different adaptative abilities of the African sorghum landraces was expected.

## Materials and methods

The sorghum cultivars representative of the kafir race and of the West African post-rainy season durra used in this study were respectively Is 9508 and Ssm 973 (from Cirad sorghum collection). Is 9508 comes from South Africa and Ssm 973 is a Senegal landrace adapted to traditional cultivation in the drying floodplains of the Senegal valley.

During three years (1994-1996), the two cultivars were sown at different dates in the field at the Samanko research station in Mali (8°70' W, 12°33' N, altitude 345 m). In total, observations were done on nineteen sowing dates for Is 9508 and eleven sowing dates for Ssm 973.

For each date of sowing and cultivar, the experimental plot consisted of one 6 m row with hills spaced at 0.30 m in the row and thinned to one plant per hill at about 10 days after seedling emergence. The plots received a standard level of fertilization and were irrigated when necessary.

For each experimental plot, six random plants were observed for the number of leaves produced during the vegetative phase and the time to flag leaf emergence.

During the period of experimentation, maximum and minimum daily air temperatures under shade were measured in a meteorological shelter at the Samanko station.

To model the photoperiod response of the two cultivars, we followed the method proposed for the guinea sorghum landrace Is 7680 (Vaksmann *et al.*, 1998).

For a given experimental plot and referring to the thermal time calculated following the Ceres sorghum model (Alagarswamy and Ritchie, 1991), the date of panicle initiation was situated at the calendar date when the thermal time from sowing achieved  $0.6 \times$  the thermal time from sowing to flag leaf emergence (Dttfl).

For each experimental plot, the thermal time to panicle initiation used in modelling the photoperiod response was established by accumulating daily minimum night temperatures to give the Nttini :

$$Nttini = \sum_{i=1}^n (T_{i,min} - T_{base})$$

where Nttini is the thermal time accumulated over  $n$  days from sowing to the estimated day of panicle initiation,  $T_{min}$  = daily minimum temperature. When  $T_{min} < T_{base}$  the daily contribution was null.

The  $T_{base}$  was estimated by means of least coefficient of variation ( $C_v$ ) with  $T_{base}$  changing by 1° from 0 to 6°C when the thermal times were related to the Bvp. When the thermal times were related to the photoperiod sensitivity phase, we tested the  $T_{base}$  by means of highest correlation coefficient.

The effective photoperiods used to model the photoperiod reaction of the cultivars studied was assumed to be the lengths of the days at the estimated dates of panicle initiation. The lengths of these days were calculated for Samanko following the model of Forsythe *et al.* (1995) for a solar elevation  $> -6$  degrees.

## Results and discussion

Field data and vegetative behaviour results are presented in tables I and II (for the durra Ssm 973, there is a lack of data for the sowings belonging to the 1995 year).

For the two cultivars, the phyllochron in number of days to produce one leaf tends to be longer when the mean daily temperatures are decreasing (tables I and II). In similar sowing conditions, the phyllochron of the durra Ssm 973 is always shorter than that of the kafir Is 9508. At the beginning of the rainy season,

**Table I.** Field data pertaining to the vegetative phase of kafir Is 9508 sown at different dates at Samanko from 1994-1996.

Sowing date	Sowing date in julian day	Number of days from sowing to flag leaf	Number of leaves	Phyllochron (day/leaf)	Mean daily temperature (sowing to flag leaf) (°C)
17/06/94	168	50.2	16.8	3.0	26.9°
01/07/94	182	47.0	17.5	2.7	26.3°
15/07/94	196	47.2	15.8	3.0	26.1°
29/07/94	210	47.0	16.3	2.9	26.3°
09/09/94	252	47.5	14.8	3.2	27.0°
16/12/94	350	106.2	25.2	4.2	24.1°
03/02/95	34	62.8	21.6	2.9	27.5°
23/06/95	174	50.8	17.3	2.9	27.6°
01/07/95	182	49.1	17.5	2.8	27.2°
09/07/95	190	49.6	16.7	3.0	26.6°
20/07/95	201	52.1	16.3	3.2	26.7°
11/09/95	254	48.1	15.6	3.1	27.5°
30/11/95	334	90.5	20.5	4.4	24.6°
03/01/96	3	67.4	20.0	3.4	26.0°
01/02/96	32	57.4	19.6	2.9	27.9°
13/06/96	165	52.0	19.2	2.7	27.8°
01/07/96	183	54.8	17.4	3.1	27.0°
22/07/96	204	58.8	15.8	3.7	26.0°
18/10/96	292	63.0	17.2	3.7	24.2°

**Table II.** Field data pertaining to the vegetative phase of durra Ssm 973 sown at different dates at Samanko from 1994-1996.

Sowing date	Sowing date in julian day	Number of days from sowing to flag leaf	Number of leaves	Phyllochron (day/leaf)	Mean daily temperature (sowing to flag leaf) (°C)
17/06/94	168	72.0	26.8	2.7	26.7°
01/07/94	182	72.0	27.2	2.6	26.3°
15/07/94	196	67.5	25.0	2.7	26.6°
29/07/94	210	61.8	24.7	2.5	26.5°
09/09/94	252	50.0	17.0	2.9	26.7°
16/12/94	350	78.8	19.8	4.0	22.3°
13/06/96	165	74.2	31.4	2.4	27.6°
01/07/96	183	75.0	26.0	2.9	27.1°
22/07/96	204	64.6	23.2	2.8	26.6°
18/10/96	292	48.0	16.2	3.0	24.5°
18/11/96	323	55.7	15.5	3.6	23.7°

the long vegetative duration of the durra associated with a low value of phyllochron explains that this cultivar produces a lot of leaves.

Varietal differences are observed in the response of the vegetative phase to flag leaf emergence (in days) depending on sowing dates all year long expressed in julian day (figure 1).

The kafir cultivar Is 9508 appears to be photoperiod insensitive during the rainy season (150-210th julian day): its vegetative phase is short and stable. At that time, the durra Ssm 973 responds to decrease in day-length by hastening its development. It shows the typical photoperiod response of a short-day plant.

During the off-season, the kafir is more responsive and becomes later than the durra. Its vegetative phase increases about twofold compared to the situation observed in the rainy season (106 days in December vs about 55 days in the rainy season). At the same time, the vegetative phase of the durra is hardly longer than the longest of its vegetative phases measured in the rainy season.

Modeling photoperiod response by using daily minimum night temperature as done for the guinea Is 7680 allows a better characterization of the differences between the kafir Is 9508 and the durra Ssm 973.



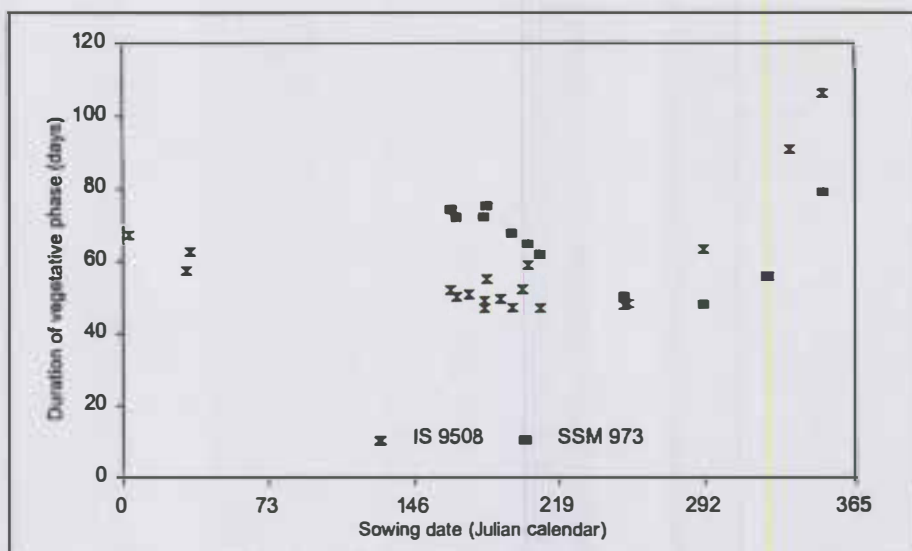


Figure 1. Duration of vegetative phase (from sowing to flag leaf emergence) of kafir Is 9508 and durra Ssm 973 sown at different dates in Samanko (1994-1996).

For each sowing date and cultivar, table III shows the components of the modelling with the dates of panicle initiation estimated at  $0.6 \times$  thermal time from sowing to panicle emergence calculated following Ceres model. It also presents the photoperiods at the estimated dates of panicle initiation and the thermal times from sowing to estimated dates of panicle initiation computed by accumulating daily minimum night temperatures. These thermal times are calculated with  $T_{base} = 1^\circ \text{C}$  which gives the best fitting of the data tested by means of Cv (case of Is 9508) or by means of correlation coefficient (case of Ssm 973) (Table IV).

For each cultivar, the visual relationship between thermal time to panicle initiation and photoperiod at panicle initiation leads to graphs which are in agreement with the Major's photoperiod response pattern (figures 2 and 3). Thus, the photoperiod response of

the kafir Is 9508 is clearly that of a photoperiod insensitive cultivar with Bvp estimated at  $634^\circ$  and  $T_{base} = 1^\circ$  (figure 2). The photoperiod response of the durra Ssm 973 is that of a short-day plant for which the range of daylength at Samanko is not enough to put in evidence its Mop (photoperiod threshold) and *a fortiori* its Bvp (figure 3). Only its photoperiod sensitivity can be evaluated by the photoperiod sensitivity coefficient:  $442^\circ \text{ day/h}$  with  $T_{base} = 1^\circ \text{C}$ .

The mathematical coefficients which evaluate the fitting of data to the Major's photoperiod response pattern are satisfactory: Cv = 8.7% with the kafir Is 9508 and coefficient of correlation = 0,99 with the durra Ssm 973. They validate the calculation of the vegetative thermal time by using daily minimum night temperature to account for the photoperiod response of sorghum.

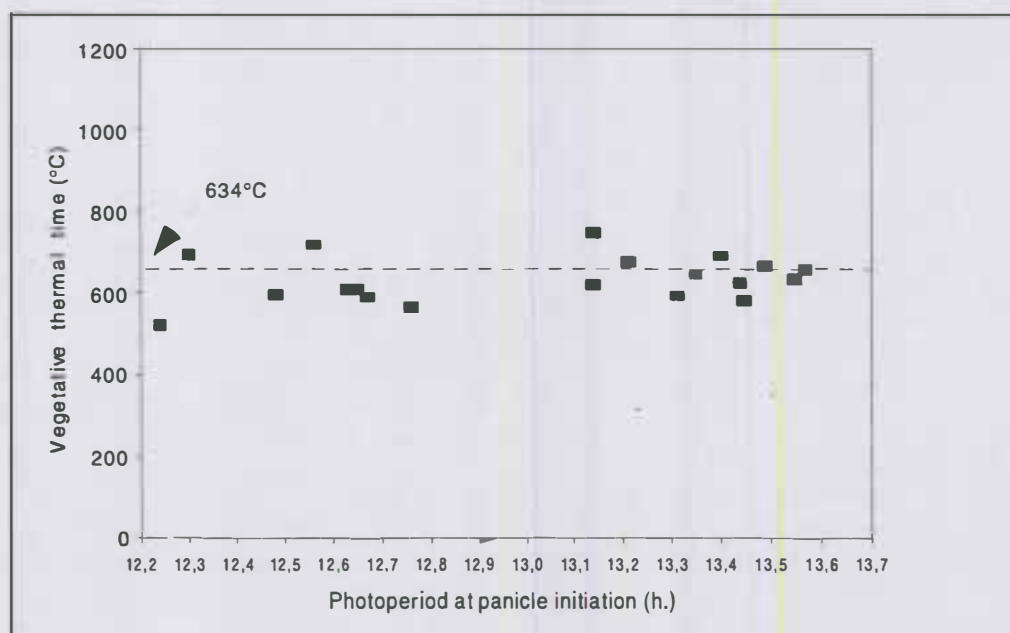


Figure 2. Thermal time to panicle initiation calculated by using night temperature plotted against photoperiod at panicle initiation of kafir Is 9508 sown in Samanko (1994-1996).

**Table III.** Estimation of dates, photoperiods and thermal times at panicle initiation of Is 9508 kafir and Ssm 973 durra sown at different dates in Samanko from 1994-1996.

Sowing date	Is 9508 kafir			Ssm 973 durra		
	Estimated date of panicle initiation (1)	Photoperiod at estimated date of panicle initiation (2)	Nttini: (Tbase = 1 ° C) (3)	Estimated date of panicle initiation (1)	Photoperiod at estimated date of panicle initiation (2)	Nttini: (Tbase = 1 ° C) (3)
17/06/94	17/07/1994	13.55	637°	30/07/1994	13.44	910 °
01/07/94	29/07/1994	13.45	583°	14/08/1994	13.29	926°
15/07/94	12/08/1994	13.31	594°	25/08/1994	13.16	868 °
29/07/94	27/08/1994	13.14	617°	05/09/1994	13.03	802°
09/09/94	08/10/1994	12.65	610°	10/10/1994	12.63	651°
16/12/94	25/02/1995	12.56	719°	06/02/1995	12.37	506°
03/02/95	15/03/1995	12.76	563°			
23/06/95	24/07/1995	13.49	667°			
01/07/95	30/07/1995	13.44	628°			
09/07/95	08/08/1995	13.35	647°			
20/07/95	21/08/1995	13.21	677°			
11/09/95	10/10/1995	12.63	610°			
30/11/95	27/01/1996	12.30	693°			
03/01/96	17/02/1996	12.48	596°			
01/02/96	07/03/1996	12.67	590°			
13/06/96	14/07/1996	13.57	657°	27/07/1996	13.47	931°
01/07/96	03/08/1996	13.40	692°	15/08/1996	13.27	943°
22/07/96	27/08/1996	13.14	747°	31/08/1996	13.09	828°
18/10/96	24/11/1996	12.24	521°	15/11/1996	12.29	429°
18/11/96				23/12/1996	12.16	378°

(1) Date at 0.6 x ddTf from Ceres model.

(2) In hours and decimals.

(3) Vegetative thermal time by summation of minimum temperatures (sowing to panicle initiation) (° Celcius).

**Table IV.** Tbase value tested by means of coefficient of variation (Cv) associated to the Bvp of Is 9508 kafir and coefficient of correlation associated with the photoperiod sensitivity phase of Ssm 973 durra.

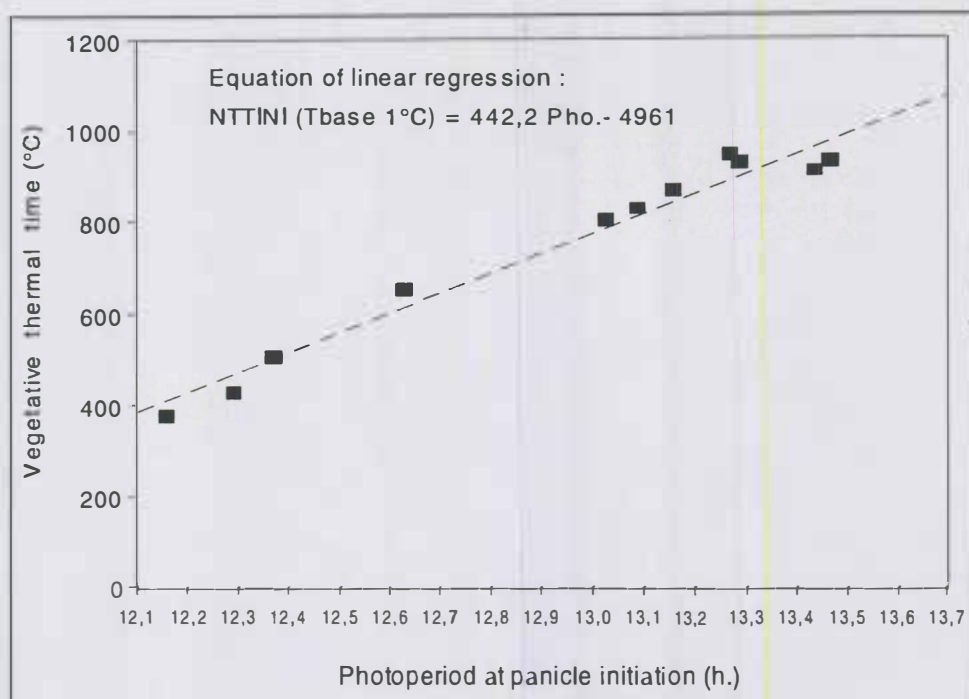
Tbase for calculation of vegetative thermal time using daily minimum night temperature	-Is 9508 kafir - Coefficient of variation associated to Bvp	- Ssm 973 durra- Coefficient of correlation associated to photoperiod sensitivity phase
0°	8.92	0.985
1°	8.66	0.986
2°	8.70	0.986
3°	9.13	0.983
4°	10.06	0.979
5°	11.70	0.979
6°	13.70	0.975

Another validation of our approach is the following: the photoperiod characteristics of the kafir Is 9508 and the durra Ssm 973 are in accordance with their origin or agricultural use.

The area of origin of the kafir Is 9508 is South Africa at high latitude (about 25° S) for tropical sorghums. At Samanko, variation in photoperiod is low compared to the variation in its area of origin and below its likely Mop. In these conditions, the vegetative growth of the kafir Is 9508 at Samanko reveals only its

intrinsic earliness. The kafir is never in a position to exhibit a possible photoperiod sensitivity which explains its apparent photoperiod insensitivity. The important increase of the vegetative phase of the kafir Is 9508 during the off-season, is due to the fact that the vegetative thermal time remains constant and high (634°). Although the kafir Is 9508 appears insensitive to cold with Tbase estimated at 1°C, the natural decrease of night temperature suffices to explain the delay in flowering: in terms of night





**Figure 3.** Thermal time to panicle initiation calculated by using night temperature plotted against photoperiod at panicle initiation of durra Ssm 973 sown in Samanko (1994-1996).

temperatures, its needs time to achieve the Bvp: the days of December or January appear only half as efficient to conduct to flowering as the days of the rainy season.

As we already said, the durra Ssm 973 is a post-rainy season sorghum from Senegal growing on residual subsoil moisture. In our study, we verified that it has the advantage of flowering quickly in the off-season and we established the components which ensure this advantage: a high photoperiod sensitivity with a very low Mop (lower than lowest photoperiod observed at Samanko) and an insensitivity to cold night temperatures quantified by a low value of Tbase (Tbase = 1°). With these features, the influence of the off-season night temperatures to delay flowering is minimized by the cold insensitivity of the kafir Is 9508 and compensated by its vegetative thermal time shorter than in the rainy season. Here, we probably identified the specific traits of the adaptation to off season of African post-rainy season sorghums and Cameroon transplanted sorghums which mostly belong to durra race.

This type of thermal and photoperiod response is different from that of the guinea Is 7680 characterized by high photoperiod sensitivity in the rainy season, Bvp achieved for the September days and constant in the off-season, and sensitivity to cold night temperatures (Tbase = 6° C) (Vaksmann *et al.*, 1998).

According to Major's model, the characteristics of the thermal and photoperiod responses of the guinea Is 7680, the kafir Is 9508 and the durra Ssm 973 are resumed in table V. In comparison with Major's model, table V presents an additional genetic constant: the Tbase or efficacy threshold of night temperature.

With only three cultivars, table V shows important differences in the values assigned to the components of the temperature and photoperiod varietal response. Moreover, it seems that independence exists between these components. Thus, insensitivity to cold night temperatures can be associated to photoperiod insensitivity (kafir Is 9508) as well as to photoperiod sensitivity (durra Ssm 973). In the same way, photoperiod sensitivity can be associated to both cold night

**Table V.** Characteristics of the thermal and photoperiod responses of three African cultivars.

Components of thermal and photoperiod characterization	Guinea Is 7680	Kafir Is 9508	Durra Ssm 973
Bvp : Base Vegetative Phase (C°)	453°	634°	If it exists < 400°
Mop : Maximum optimal photoperiod (h)	12.95 h	If it exists > 13.60 h	If it exists < 12.10 h
Photosensitivity (°C day/h)	625° days/h	7	442° days/h
Efficacy threshold of night temperatures (°C)	6°	1°	1°

temperature sensitivity (guinea ls 7680) and cold night temperature insensitivity (durra Ssm 973).

As reported in the study of Vaksman *et al.*, 1998, it appears that temperature acts differently in the growth and development phases of the studied sorghum cultivars. During the growth phase, what is important is the daily mean temperature mainly to explain phyllochron. On the other hand, it is efficient to consider the daily night temperatures to explain time to panicle initiation.

More investigations among African landraces would certainly identify new kinds of temperature and photoperiod responses related to particular uses in traditional cropping systems. They would also accurately define the scope of variation of the different components of the temperature and photoperiod varietal response. For now, our results broaden the photoperiod sensitivity coefficients that Ritchie and Alagarswamy (1989) found in modelling the phenology of selected Us cultivars.

A better understanding of sorghum development strategies related to their agronomic uses is anticipated. If the genetic independence in the components of the temperature and photoperiod varietal response is verified, we will have new breeding tools to combine different levels of temperature and photoperiod sensitivity in selected lines.

## References

ALAGARSWAMY G., RITCHIE J.T., 1991. Phasic development in Ceres-Sorghum Model. *In* Predicting Crop Phenology. HODGES T. (Ed.), Crc Press, Boca Raton, p. 143-152.

DOGGETT H., 1988. Sorghum. London & Harlow, Longman Scientific and Technical, 512 p.

FORSYTHE W.C., RYKIEL E.J., STAHL R.S., HSIN-I WU, SCOTTFIELD R.M., 1995. A model comparison for daylength as a fonction of latitude and day of year. *Ecol. Modelling* 80 : 87-95.

HARLAN J.R., DE WET J.M.J., 1972. A simplified classification of cultivated sorghum. *Crop Science*. 12 : 172-176.

MAJOR D.J., 1980. Photoperiod response characteristics controlling flowering of nine crop species. *Canadian Journal of Plant Science* 60 : 777-784.

MILLER F.R., BARNES D.K., CRUZADO H.J., 1968. Effect of tropical photoperiods on the growth of sorghum when grown in 12 monthly plantings. *Crop Science* 8 : 499-502.

SAPIN P., REYNARD A., 1968. La culture de décrue du sorgho dans la vallée du fleuve Sénégal. Quelques techniques culturales simples pour son amélioration. *L'Agronomie tropicale* 23 (8) : 864-871.

REDDY B.V.S., PRASADA RAO K.E., 1993. Genetic diversification. Cereals program, annual report, 1992. Icrisat, Patancheru, A.P. India, p. 48-51.

RITCHIE J.T., ALAGARSWAMY G., 1989. Simulation of Sorghum and Pearl Millet phenology. *In* Modelling the growth and development of Sorghum and Pearl Millet. Research Bulletin n° 12, Icrisat, Patancheru, A.P. India, p. 24-28.

VAKSMANN M., CHANTEREAU J., BAHMANI I., AGHAMADA M., CHARTIER M., BONHOMME R., 1998. Influence of night temperature on photoperiod response of a West African landrace. *In* Actes de l'atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho-Icrisat/Cirad, 17-20 mars 1997, Bamako, Mali. Cirad-Ca, Montpellier, France.

# E

## tude du déterminisme génétique du photopériodisme des sorghos guinea

G. TROUCHE<sup>1</sup>, M. VAKSMANN<sup>2</sup>, J. CHANTEREAU<sup>3</sup>,  
M. KOURESSY<sup>2</sup>, H.D. MAÏGA<sup>3</sup>, C. BARRO<sup>4</sup>

1. Cirad/Inera, 01 BP 596, Ouagadougou, Burkina Faso

2. Ier/Cirad, Crra Sotuba, BP 438, Bamako, Mali

3. Programme conjoint sorgho Icrisat/Cirad, BP 320, Bamako, Mali

4. Inera, Crra Saria, BP 10, Koudougou, Burkina Faso

**Résumé** — En Afrique de l'Ouest, les variétés locales de sorgho de race guinea sont en grande majorité sensibles à la photopériode, ce qui leur confère une grande capacité d'adaptation vis-à-vis des contraintes de leur environnement agro-écologique. A l'opposé, les variétés sélectionnées sont en général insensibles à la photopériode, et doivent être semées à des dates relativement fixes, ces variétés sont donc peu adaptées aux systèmes de culture traditionnels. Dans l'objectif d'introduire dans les variétés améliorées une certaine sensibilité à la photopériode, des études sur le déterminisme photopériodique des sorghos guinea ouest-africains ont été conduites au Mali et au Burkina Faso. Les premiers résultats disponibles obtenus à partir de plusieurs croisements faisant intervenir au moins un écotype guinea sensible à la photopériode, montrent que, chez ces sorghos guinea, la sensibilité à la photopériode est dominante par rapport à l'insensibilité, et que la durée du cycle végétatif est contrôlée par au moins deux gènes majeurs, et plusieurs gènes mineurs. L'étude des lignées recombinantes suggère également que plusieurs gènes ont une action sur le Bvp (Basic vegetative phase) et la sensibilité à la photopériode au sens strict. Les études de marquage moléculaire réalisées sur ces lignées recombinantes devraient apporter de nouvelles informations sur le nombre de gènes impliqués et leur rôle dans le contrôle génétique de la réponse à la photopériode.

**Abstract** — Genetic study on photoperiod of guinea sorghum. West African landraces are generally photoperiod sensitive. This trait explains their good adaptation to prevailing climatic conditions and agronomic constraints. On the contrary, selected lines are generally photoperiod insensitive. They have to be sown on specific dates such that their maturity corresponds with the end of the rainy season. These varieties are poorly adapted to traditional farming systems. In order to facilitate introduction of photoperiod sensitivity into selected lines, genetic studies have been carried out in Mali and Burkina Faso. The results of crosses involving photosensitive guinea parents have shown that photoperiod sensitivity is dominant over photoperiod insensitivity. Moreover, the duration of the vegetative phase has appeared to be controlled by at least two major genes, and several minor genes. The study of recombi-

nant inbred lines has also shown that several genes are affecting Bvp (Base vegetative phase) and photoperiod sensitivity *sensu stricto*. The Qtl mapping studies undertaken with these recombinant inbred lines should provide new information on the number and effects of genes involved in the genetic control of the photoperiod response

Les sorghos cultivés sont classiquement divisés en cinq races de base, qui sont les races bicolor, guinea, kafir, caudatum et durra. Dans toute la zone soudanienne de l'Afrique de l'Ouest, les variétés locales de sorgho appartiennent en grande majorité à la race guinea. Ces variétés locales guinea sont généralement des plantes photopériodiques de jours courts sensibles aux faibles températures nocturnes (Vaksmann *et al.*, 1998). Ces sorghos ont donc tendance à fleurir plus rapidement lorsque la longueur du jour diminue, c'est-à-dire vers la fin de la saison des pluies. La sensibilité à la photopériode des variétés locales leur procure une certaine souplesse d'adaptation face aux aléas climatiques (Vaksmann *et al.*, 1996). Avec ces variétés, les paysans disposent d'une grande flexibilité dans les dates de semis. Ils peuvent ainsi semer précocement, dès l'installation des pluies. Cette pratique des semis précoces assure à la plante une meilleure valorisation de l'azote organique minéralisée en début de saison et permet une meilleure maîtrise de l'enherbement. Le photopériodisme des variétés locales garantit également un bon calage du cycle par rapport à la fin de la saison des pluies, qui est généralement moins variable que le début. Quelle que soit la date de semis, la variété fleurira à une date relativement fixe qui se situe environ deux à trois semaines avant l'arrêt des pluies. La maturation des grains se fait donc dans de bonnes conditions d'alimentation hydrique mais après les grandes pluies, ce



qui permet d'éviter les altérations du grain causées par les moisissures, insectes (punaises) et les attaques d'oiseaux.

Les variétés améliorées ont très souvent perdu cette sensibilité à la photopériode pour au moins trois principales raisons. En premier lieu, l'insensibilité à la photopériode a été un objectif de sélection pour l'obtention de variétés de cycle court, aptes à être cultivées dans une grande gamme de latitudes ou en contre-saison. En deuxième lieu, la sensibilité à la photopériode a été naturellement éliminée par l'utilisation courante, dans les programmes de sélection, de variétés de race caudatum ou kafir, généralement peu ou pas sensibles à la photopériode sous les latitudes tropicales, cela dans le but de créer des variétés de taille réduite avec un meilleur rapport grain/paille pour une meilleure réponse aux engrais. Enfin, les sélectionneurs ne disposaient pas de connaissances approfondies sur la génétique du photopériodisme qui auraient permis de développer des schémas de sélection visant à améliorer le rapport grain/paille tout en conservant le photopériodisme des sorghos guinea.

Ainsi, avec les variétés améliorées, les paysans doivent semer à une date précise pour faire coïncider la maturation du grain avec la fin de la saison des pluies. En cas de semis trop précoces par rapport à la date recommandée, les grains sont exposés aux attaques des moisissures et des insectes de la panicle. Avec des semis trop tardifs, la période de remplissage des grains est décalée par rapport à l'arrêt des pluies d'où le risque de subir une sécheresse de fin de cycle. En définitive, ces variétés sont souvent mal adaptées aux systèmes traditionnels de culture et ceci est une raison de leur faible degré d'adoption par les paysans ouest-africains (Stoop *et al.*, 1981).

Afin de mieux comprendre le processus de floraison des plantes cultivées, Vergara et Chang (1976) puis Major (1980) ont entrepris de modéliser l'effet de la photopériode sur la durée de la phase végétative. Dans ce modèle, trois paramètres principaux caractérisent le comportement photopériodique d'une plante de jours courts comme le sorgho : la phase végétative de base (*Base vegetative phase*, Bvp), le seuil photopériodique (*Maximum optimal photoperiod*, Mop) et la sensibilité à la photopériode. Le Bvp représente le temps thermique minimum pour atteindre le stade d'initiation paniculaire en condition de photopériode optimale. Le Mop est défini comme la valeur de photopériode au-delà de laquelle la durée de la phase végétative s'accroît. La sensibilité à la photopériode est mesurée par la pente de la droite exprimant le rallongement de la phase végétative en fonction de l'augmentation de la photopériode. Une étude récente (Vaksmann *et al.*, 1998) a démontré que la réponse à la photopériode d'un écotype guinea ouest-africain (Is 7680) pouvait bien se caler avec le

modèle de Major lorsque le temps thermique de la phase végétative (semis-initiation paniculaire) était calculé en utilisant les températures nocturnes minimales.

Au niveau génétique, il est classiquement admis que la floraison du sorgho est commandée par quatre gènes, appelés gènes de maturité  $Ma_1$  à  $Ma_4$ , ayant de multiples allèles (Quinby, 1967). De manière générale, les sorghos tropicaux possèdent les allèles dominants au niveau des quatre loci, et un allèle récessif à un locus donné apportera un gain de précocité. Le gène  $Ma_1$  est celui qui contrôle la réponse à la photopériode ; l'allèle dominant  $Ma_1$  confère une plus grande sensibilité à la photopériode comparé à l'allèle récessif  $ma_1$  (Major *et al.*, 1990). Le gène  $Ma_2$  serait impliqué dans l'interaction photopériode x température mais son rôle exact n'est pas bien défini. L'allèle dominant du gène  $Ma_3$  aurait pour effet d'accroître le phyllochrone (vitesse d'émission des feuilles). Son allèle récessif  $ma_3$  aurait pour effet de réduire le Bvp et d'éliminer la sensibilité à la photopériode. Enfin, le rôle du gène  $Ma_4$  n'est pas bien déterminé mais l'expression de ce gène semble très influencée par la température. En réalité, il est probable que la réponse des sorghos aux températures et à la photopériode soit le résultat non seulement d'une complémentarité des effets des quatre gènes de maturité (Major *et al.*, 1990) mais également de l'intervention de gènes mineurs à effets plus réduits (Quinby et Karper, 1945, 1954). En particulier, la réponse marquée des sorghos guinea à de très faibles variations de longueur du jour (quelques minutes) semble difficile à expliquer par la seule action des quatre gènes de maturité.

Dans le but d'incorporer au sein des variétés sélectionnées une certaine sensibilité à la photopériode, il convient de mieux caractériser le comportement photopériodique des sorghos guinea ouest-africains et d'en connaître mieux le déterminisme génétique. Dans ce but, nous avons conduit différentes études au Mali et au Burkina Faso à partir de plusieurs croisements faisant intervenir au moins un écotype guinea sensible à la photopériode. Dans cette communication, nous présenterons les premiers résultats disponibles à partir de trois études complémentaires sur des  $F_1$ ,  $F_2$  et lignées recombinantes  $F_6$ .

## Matériel et méthodes

Ces études ont été réalisées de 1994 à 1996 dans les stations de recherche de Samanko et de Sotuba au Mali et Saria au Burkina Faso.

L'étude de  $F_1$  a été conduite en 1994 sur la station de recherche Icrisat de Samanko, située à environ 20 km de Bamako (longitude 8°70' W, latitude 12°33' N,

altitude 345 m). L'hybride  $F_1$  étudié est le produit d'un croisement entre un écotype guinea du Burkina Faso, Is 7680 (78 dans la collection Inera Saria et Ssm 249 dans la collection Cirad) et une lignée mâle stérile américaine convertie Atx 623. Le comportement thermophotopériodique de l'écotype Is 7680 a été décrit dans une étude récente (Vaksmann *et al.*, 1998). La lignée Atx 623 est insensible à la photopériode dans les conditions de culture du sorgho au Mali.

Les deux parents et l'hybride  $F_1$  ont été semés durant la saison des pluies 1994 à cinq dates : 17 juin, 1<sup>er</sup> juillet, 15 juillet, 29 juillet et 9 septembre. Pour chaque génotype et chaque date de semis, la parcelle élémentaire consistait en une ligne de 6 m de longueur avec des écartements de 0,80 m entre les lignes et 0,30 m entre les poquets. Un démariage à un pied par poquet a été effectué environ 10 jours après la levée. Les parcelles ont reçu une fertilisation de 100 kg/ha d'engrais coton (15-15-15) au labour et 100 kg/ha d'urée fractionnés en deux apports au démariage et à la montaison. Lorsque c'était nécessaire, des apports d'eau appropriés ont été assurés par une irrigation par gravité. Pour chaque parcelle, six plants tirés aléatoirement ont été suivis. Pour chaque plant, la date de déploiement de la feuille drapeau (visualisation de la ligule) a été notée grâce à un passage effectué tous les trois jours. Le nombre de feuilles émises par la tige principale a également été mesuré grâce à un marquage régulier des feuilles déployées. Pour chaque génotype et date de semis, la durée de la phase végétative a été appréciée par la durée moyenne du cycle semis-feuille drapeau et par le nombre moyen de feuilles émises.

L'étude des  $F_2$  a été réalisée en 1996 sur la station de recherche agronomique de Sotuba de l'Ier, située à 7 km de Bamako (longitude 7°56' W, latitude 12°39' N, altitude 320 m). Les trois populations  $F_2$  suivies sont issues de croisements deux à deux entre trois écotypes guinea du Mali qui représentent les trois groupes de précocité définis pour le zonage agroclimatique des sorghos maliens :

- Csm 63 : précoce (cycle semis-maturité égal à 100 jours), insensible à la photopériode à la latitude de Bamako ;
- Csm 388 : demi-tardif (cycle semis-maturité égal à 130 jours pour un semis de juin), sensible à la photopériode ;
- Wassoulou : très tardif (cycle semis-maturité égal à 170 jours pour un semis de juin), sensible à la photopériode.

Les trois populations  $F_2$  ont été semées le 14 juin à raison de 500 poquets par  $F_2$ . Les parents des croisements et les  $F_1$  ont été semés à la même date en bordure de leur  $F_2$  respective. Cette date de semis

précoce a été choisie car elle permet de distinguer les génotypes photopériodiques, qui sont, dans ces conditions, les plus tardifs, des génotypes non ou peu photopériodiques, qui sont les plus précoces (Chantereau *et al.*, 1995). Les semis ont été réalisés sur billons aux écartements de 0,75 m entre les billons et 1 m entre les poquets sur le billon. Les semences ont été traitées avec du Furadan (carbofuran) au moment du semis. Le démariage a été fait à un plant par poquet peu après la levée. Les parcelles ont reçu une fertilisation homogène de 100 kg/ha de phosphate d'ammoniaque avant le semis et 50 kg/ha d'urée à la montaison. L'installation d'un système d'irrigation de type goutte à goutte a permis une irrigation satisfaisante de toutes les plantes. Sur chaque plant  $F_2$ , la date de déploiement de la feuille drapeau (feuille ligulée) a été observée grâce à un passage tous les trois jours et la durée du cycle semis-feuille drapeau a ainsi été calculée.

L'étude des lignées recombinantes  $F_6$  (Lr) a été conduite, de 1994 à 1996, sur la station de recherche agricole Inera de Saria, située à 80 km à l'ouest de Ouagadougou (longitude 2°09' W, latitude 12°16' N, altitude 300 m). Les 86 lignées étudiées sont issues d'un croisement nommé Cauga entre l'écotype guinea Is 7680 (78 dans la collection Inera Saria) et un écotipe caudatum du Zimbabwe Is 2807, peu sensible à la photopériode dans les conditions de culture du sorgho de Saria. Les lignées ont été obtenues en appliquant la méthode Ssd (*Single Seed Descent*) sans sélection à partir de 100 plantes  $F_2$ . Les lignées et les parents ont été semés à trois dates durant la saison des pluies, 21 juin, 21 juillet et 22 septembre, et une date en contre-saison, 10 janvier. Vingt lignées et les parents ont également été semés le 9 juillet. Pour chaque génotype et chaque date de semis, la parcelle élémentaire consistait en une ligne de 5,1 m de longueur avec des écartements de 0,80 m entre les lignes et 0,30 m entre les poquets. Un démariage à un pied par poquet a été effectué environ 10 jours après la levée. Les semences ont été traitées avec du Furadan au moment du semis. Les parcelles ont reçu une fertilisation de 100 kg/ha d'engrais coton (14-23-14) au labour et 50 kg/ha d'urée à la montaison. Pour les dates de septembre et janvier, les semis ont été réalisés sur billons et les plantes ont bénéficié d'une irrigation appropriée. Dans chaque parcelle, cinq plantes tirées au hasard ont été suivies et, pour chaque plante, la date de déploiement de la feuille drapeau et le nombre de feuilles émises par la tige principale ont été observés. Les méthodes et fréquences des observations étaient identiques à celles décrites pour l'étude de  $F_1$ . Pour chaque lignée et chaque date de semis, les valeurs analysées représentent les valeurs moyennes pour les cinq plantes suivies.



Sur chaque site, les températures journalières minimum et maximum sous abri ont été relevées au niveau d'une station météorologique.

Pour la modélisation du comportement photopériodique des lignées recombinantes, nous avons suivi la méthode proposée pour l'écotype guinea ls 7680 (Vaksmann *et al.*, 1998). Pour estimer la date d'initiation paniculaire, nous avons considéré le temps thermique depuis le semis jusqu'au déploiement de la feuille drapeau. Ce temps thermique a été calculé en utilisant les températures moyennes journalières (Dtt) suivant le modèle Ceres adapté au sorgho (Alagarswamy et Ritchie, 1991). La date calendaire de l'initiation paniculaire a ensuite été établie au jour correspondant à  $0,6 \times$  temps thermique Ceres semis-feuille drapeau (Coefficient proposé par Muchow et Carberry, 1990).

Le temps thermique de la phase végétative (semis-initiation paniculaire) utilisé pour modéliser la réponse des lignées à la photopériode a été calculé grâce à la sommation des températures nocturnes journalières minimales diminuées d'une température de base :

$$Ntt = \sum_1^n \{T_{min} - T_{base}\}$$

où Ntt = temps thermique nocturne accumulé pendant n jours du semis jusqu'au jour estimé de l'initiation paniculaire,  $T_{min}$  = somme des températures nocturnes journalières minimales et  $T_{base} = 6^\circ\text{C}$  suivant les calculs de Vaksmann *et al.* (1997).

La photopériode effective utilisée pour la modélisation correspond à la longueur du jour à la date estimée pour l'initiation paniculaire. Cette longueur du jour a été calculée suivant le modèle de Forsythe *et al.* (1995) pour une élévation du soleil  $> -6$  degrés.

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel Cstat du Cirad.

## Résultats et discussions

### Populations $F_1$

La courbe de réponse phénologique de l'hybride  $F_1$  aux cinq dates de semis suit de très près celle du parent guinea 78 (ls 7680), que le caractère considéré soit la durée en jours du cycle semis-feuille drapeau (figure 1) ou le nombre de feuilles émises (figure 2).

Ces résultats mettent en évidence une dominance de la tardiveté pour les semis de juin et juillet et une dominance de la précocité pour le semis de septembre. D'après la caractérisation du comportement thermophotopériodique de la lignée ls 7680 faite selon le modèle de Major adapté par Vaksmann *et al.* (1997), les effets observés de dominance touchent donc deux paramètres distincts :

- la sensibilité à la photopériode ;
- le Bvp.

Ainsi, pour les semis de juin et juillet pour lesquels l'initiation paniculaire intervient en jours longs (photopériode non optimale), ces résultats démontrent la dominance de la sensibilité à la photopériode par rapport à l'insensibilité, ce qui est en accord avec les résultats obtenus par Major *et al.* (1990) au sujet du contrôle de la réponse à la photopériode par le gène de maturité  $Ma_1$  dont l'allèle dominant confère une sensibilité accrue à la photopériode.

Pour le semis de septembre pour lequel l'initiation paniculaire se déroule en jours courts donc en photopériode favorable, les résultats mettent en évidence une dominance de la précocité au niveau du Bvp, ce qui n'est pas mentionné dans la littérature pour le sorgho à propos de l'action connue des gènes de

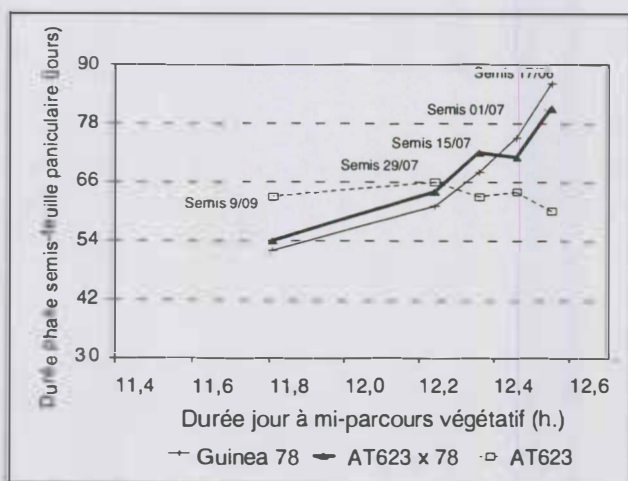


Figure 1. Effet de différentes dates de semis sur la durée du cycle végétatif de deux génotypes de sorgho et de leur hybride.

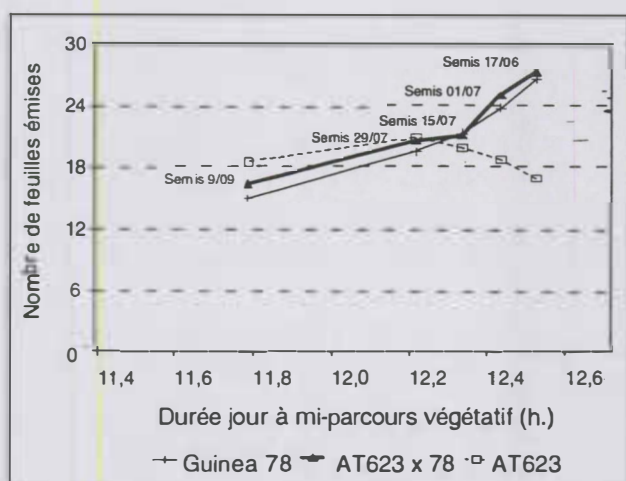


Figure 2. Effet de différentes dates de semis sur la production de feuilles de deux génotypes de sorgho et de leur hybride.

maturité. En revanche, la dominance de la précocité pour le Bvp a été signalée chez le maïs (Rood et Major, 1991).

Populations F<sub>2</sub>

Croisement Csm 63 x Wassoulou

Pour ce premier croisement, la variation de la longueur du cycle semis- feuille drapeau (Csfd) chez les plantes F<sub>2</sub> a une allure bimodale qui sépare assez bien un groupe d'individus précoces (Csfd < 90 jours) et un groupe d'individus tardifs (Csfd > 90 jours) (figure 3). Les deux parents du croisement sont positionnés aux extrémités de la variation des F<sub>2</sub>. La valeur de l'hybride F<sub>1</sub> se situe un peu au-dessus de la valeur moyenne des deux parents ce qui traduit une dominance partielle de la tardiveté sur la précocité. La proportion des individus précoces par rapport aux individus tardifs est proche du rapport 1/3 du monohybridisme (tableau I). Les plantes du groupe tardif diffèrent des plantes du groupe précoce par au moins un gène majeur pour lequel la tardiveté en jours

longs est l'expression dominante. Ce gène pourrait être le gène de maturité Ma<sub>1</sub> contrôlant la réponse à la photopériode (Major et al., 1990), dont l'allèle dominant serait présent chez Wassoulou et l'allèle récessif chez Csm 63. A l'intérieur de chaque groupe, il existe une variation importante qui traduit l'action d'autres gènes à effets mineurs.

Croisement Csm 63 x Csm 388

Pour ce deuxième croisement, la variation de la durée du cycle semis-feuille drapeau a également une distribution à deux modes qui différencie nettement un groupe d'individus précoces (Csfd < 75 jours) et un groupe d'individus demi-tardifs (Csfd > 75 jours) (figure 4). Comme pour le premier croisement, la proportion des plantes précoces par rapport aux plantes tardives s'approche du rapport 1/3 du monohybridisme (tableau II). L'hybride F<sub>1</sub> présente une valeur de cycle très proche de celle du parent tardif Csm 388, ce qui paraît traduire pour ce croisement une dominance totale de la tardiveté sur la précocité. Dans cette F<sub>2</sub>, on note également l'existence de plantes plus tardives que le parent photopériodique Csm 388. Ces résultats pourraient exprimer

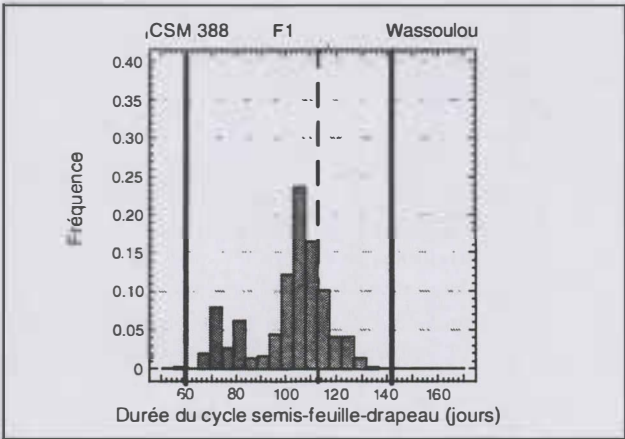


Figure 3. Distribution de fréquence de la durée du cycle végétatif pour la population F<sub>2</sub> du croisement Csm 63 x Wassoulou.

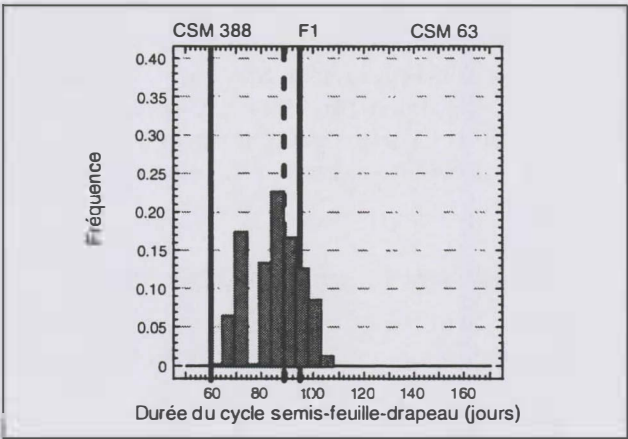


Figure 4. Distribution de fréquence de la durée du cycle végétatif pour la population F<sub>2</sub> du croisement Csm 63 x Csm 388.

Tableau I. Ségrégations observées pour la durée du cycle végétatif dans la F<sub>2</sub> du croisement Csm 63 x Wassoulou.

Croisement	Fréquence observée Précoces (Csfd < 90 j)	Fréquence observée Tardifs (Csfd > 90 j)	$\chi^2$ obs pour 3/1	$\chi^2_{0,95}$ seuil ddl=1
Csm 63 x Wassoulou	60	226	2,55	3,84

Tableau II. Ségrégations observées pour la durée du cycle végétatif dans la F<sub>2</sub> du croisement Csm 63 x Csm 388.

Croisement	Fréquence observée Précoces (Csfd < 75 j)	Fréquence observée Tardifs (Csfd > 75 j)	$\chi^2$ obs pour 3/1	$\chi^2_{0,95}$ seuil ddl=1
Csm 63 x Csm 388	107	334	0,11	3,84



Tableau III. Ségrégation observée pour la durée du cycle végétatif dans la F<sub>2</sub> du croisement Wassoulou x Csm 388.

Croisement	Fréquence observée Précoces (Csfd < 95 j)	Fréquence observée Tardifs (Csfd > 95 j)	$\chi^2$ obs pour 15/1	$\chi^2_{0,95}$ seuil ddl=1
Wassoulou x Csm 388	38	543	0,11	3,84

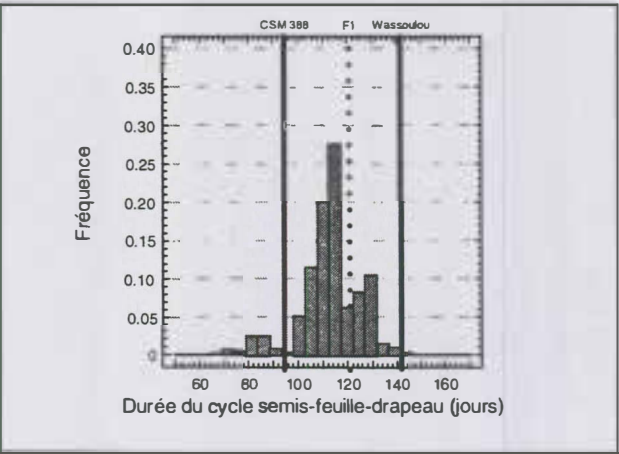


Figure 5. Distribution de fréquence de la durée du cycle végétatif pour la population F<sub>2</sub> du croisement Wassoulou x Csm 388.

l'action d'un autre gène majeur, dont l'allèle dominant serait présent pour la variété Csm 388 et qui serait différent du gène Ma<sub>1</sub> car il démontre, dans ce cas, une dominance totale. Ces résultats suggèrent également l'action de gènes mineurs ayant des effets de complémentation entre eux ou avec le gène majeur.

Croisement Wassoulou x Csm 388

Pour ce troisième croisement, la variation de la durée du Csfd a de nouveau une distribution bimodale qui

permet de distinguer un groupe d'individus plus précoces que Csm 388 (Csfd < 95 jours) et un groupe d'individus tardifs (Csfd >95 jours), ce deuxième groupe étant de précocité intermédiaire entre les deux parents (figure 5). La répartition des individus entre ces deux groupes de précocité suit un rapport 1/15 qui indique un dihybridisme (tableau III). Les deux variétés diffèrent donc par deux gènes majeurs dominants pour la tardivité, ce qui est en accord avec les hypothèses émises précédemment. Les individus les plus précoces cumulent ainsi les allèles récessifs de ces deux gènes.

Lignées recombinantes

Pour les deux dates de semis les plus extrêmes de la saison des pluies, 21 juin et 22 septembre, la durée du cycle végétatif (cycle semis - feuille drapeau Csfd) des lignées recombinantes et de leurs parents a été représentée sous la forme d'histogramme de fréquence. Pour le semis de juin, l'allure en courbe de Gauss de l'histogramme et l'existence de lignées plus précoces ou plus tardives par rapport aux deux parents confirment le déterminisme polygénique de la durée du cycle végétatif (figure 6). Pour le semis de septembre, pour lequel la durée du cycle végétatif est très liée à la valeur de la phase végétative de base (Bvp), l'histogramme de la durée du cycle végétatif a

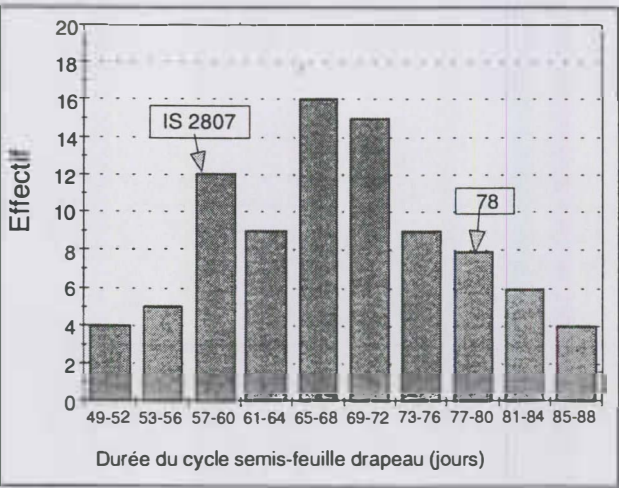


Figure 6. Distribution de fréquence de la durée du cycle végétatif pour 86 lignées F<sub>6</sub> recombinantes du croisement Is 2807 x 78 (semis du 21 juin).

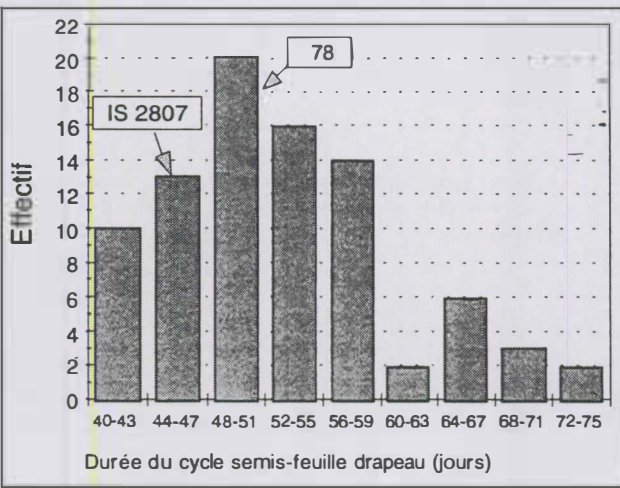
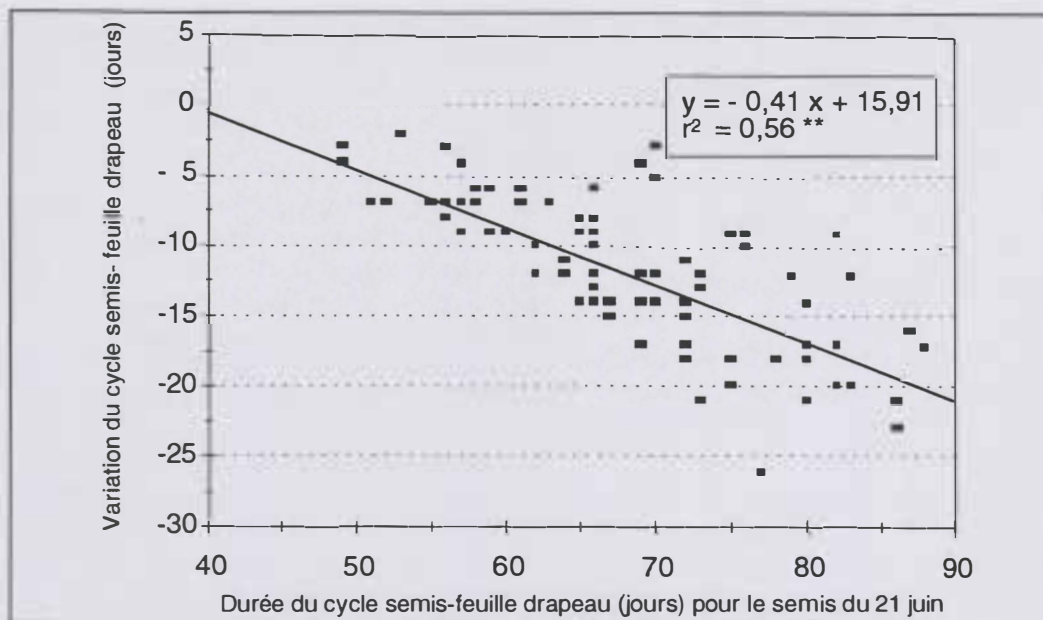
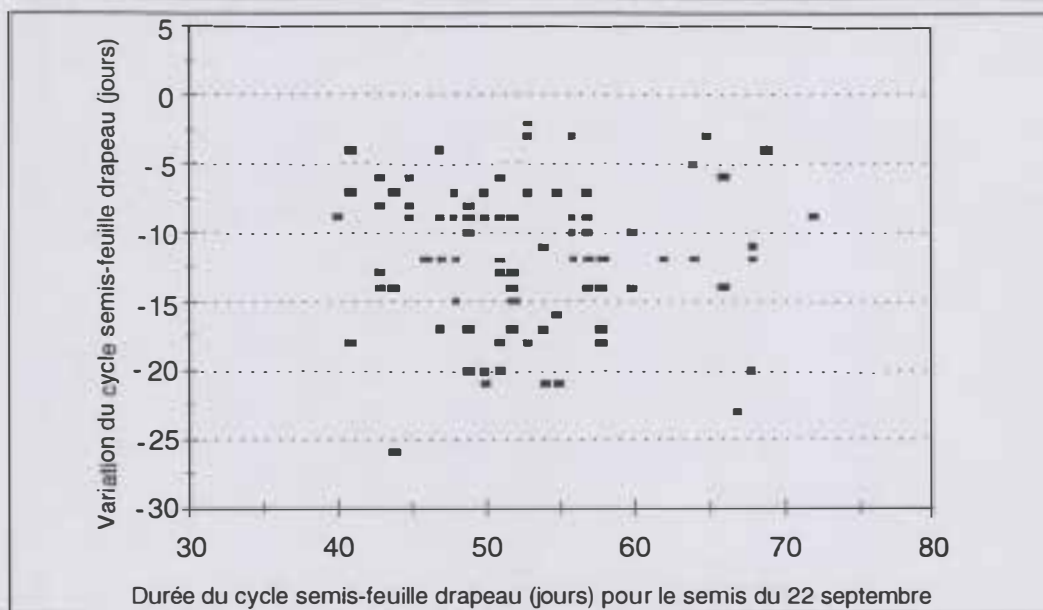


Figure 7. Distribution de fréquence de la durée du cycle végétatif pour 86 lignées F<sub>6</sub> recombinantes du croisement Is 2807 x 78 (semis du 22 septembre).



**Figure 8.** Relation entre la durée du cycle végétatif au semis du 21 juin et la variation de cycle végétatif entre les semis du 21 juin et 21 juillet pour 86 lignées  $F_6$  recombinantes du croisement Is 2807 x 78.



**Figure 9.** Relation entre la durée du cycle végétatif au semis du 22 septembre et la variation de cycle végétatif entre les semis du 21 juin et 21 juillet pour 86 lignées  $F_6$  recombinantes du croisement Is 2807 x 78.

plutôt une allure bimodale qui traduit l'effet d'un nombre limité de gènes sur le Bvp (figure 7).

Pour l'ensemble des 86 lignées, nous avons étudié la relation entre la durée du cycle végétatif pour le semis du 21 juin et la variation de ce cycle suite à un décalage du semis de 30 jours (figure 8). Une relation linéaire hautement significative est mise en évidence entre ces deux variables ( $r^2 = 0,56$ ). Ainsi, les lignées les plus tardives pour un semis du 21 juin présentent la réduction de cycle la plus importante suite au retard de semis. En d'autres termes, les lignées tardives sont celles qui répondent le plus à la photopériode alors que les lignées les plus précoces réagissent peu ou pas à la photopériode, comme cela a déjà été rapporté dans une étude antérieure (Chantereau *et al.*, 1995). Cependant, parmi les lignées de cycle moyen convenant pour la zone Centre du Burkina Faso, c'est-à-dire celles ayant dans

ce cas un Csfd compris entre 65 et 75 jours, cette relation linéaire est beaucoup moins évidente. Par exemple, on note que des lignées ayant une même durée de cycle végétatif de 70 jours pour le semis du 21 juin montrent des réponses à la photopériode très contrastées, avec une réduction de cycle suite au semis du 21 juillet variant de 3 à 17 jours. En conséquence, la sélection dans ce type de croisement de matériel photopériodique à cycle moyen ne sera vraiment efficace qu'avec un semis plus précoce, dans la première semaine de juin.

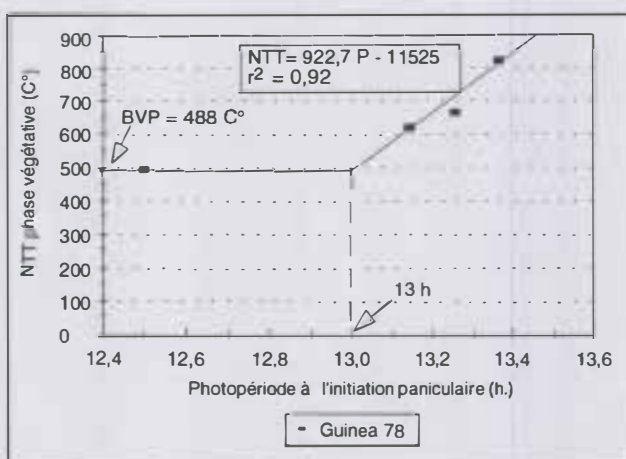
A l'opposé, aucune relation n'est mise en évidence entre la durée du cycle végétatif pour un semis du 22 septembre et la même réduction de cycle entre les semis du 21 juin et du 21 juillet (figure 9). Pour ces lignées, cela indique qu'il y a indépendance entre le Bvp et la sensibilité à la photopériode au sens strict.



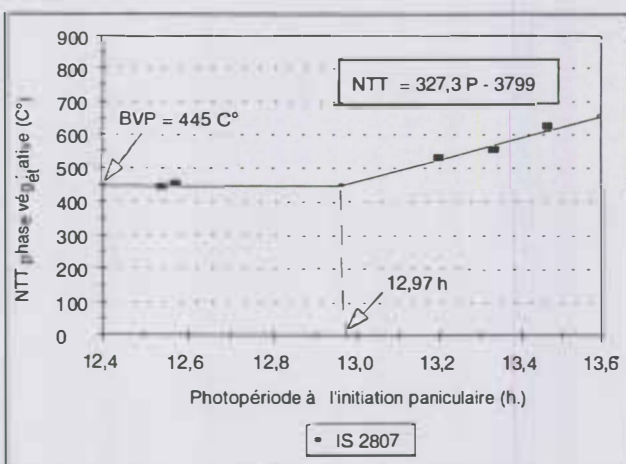
Afin de mieux apprécier la variabilité du comportement photopériodique des lignées recombinantes, nous avons réalisé une analyse en composante principale (Acp) en considérant les variables de durée du cycle végétatif et nombre de feuilles émises pour les semis du 21 juin, 21 juillet et 22 septembre et la variation de longueur du cycle entre les semis de juin et juillet. Cette Acp a mis en évidence la structuration des lignées en quatre groupes principaux et deux groupes mineurs.

Les deux parents et un échantillon de lignées représentant les quatre groupes principaux ont été caractérisés selon le modèle de Major adapté par Vaksman et al. (1997).

Dans les représentations graphiques, les points correspondant au semis du 10 janvier sont souvent mal ajustés au modèle. Pour ce semis de janvier, une majorité de lignées recombinantes a en effet montré une durée de cycle végétatif excessive, qui pourrait être la conséquence d'une très forte attaque de pucerons en cours de végétation.



**Figure 10.** Caractérisation selon le modèle de Major adapté par Vaksman de la réponse photopériodique du parent guinea 78 (saria - 4 dates de semis).



**Figure 11.** Caractérisation selon le modèle de Major adapté par Vaksman de la réponse photopériodique du parent caudatum Is 2807 (saria - 5 dates de semis).

Les deux parents du croisement, Is 2807 et 78, se distinguent surtout par la sensibilité à la photopériode au sens strict, définie par la pente de la droite de régression entre le cycle végétatif et la photopériode (figures 10 et 11).

Les trois premiers groupes de l'Acp se différencient suivant trois niveaux de sensibilité à la photopériode au sens strict (figure 12). L'existence des trois groupes montre que la sensibilité à la photopériode ne peut être seulement contrôlée par le gène de maturité  $Ma_1$  et fait sans doute intervenir d'autres gènes. Le quatrième groupe représente les lignées ayant un Bvp élevé, proche de 600 °C. Pour l'ensemble des lignées, le Mop montre également une certaine variation allant de 12,8 h à 13,2 h. Comme les deux parents ont des valeurs de Bvp inférieures à 500 °C et des valeurs de Mop proches de 13 h, cela suggère que l'expression de ces deux caractères doit être commandée par plusieurs gènes avec, sans doute, des phénomènes de complémentation. Les deux derniers groupes définis par l'Acp ne paraissent pas très homogènes et sont difficiles à caractériser.

Certaines lignées manifestent des comportements photopériodiques très particuliers (figure 13). Ainsi, la lignée n° 84 ne révèle aucune sensibilité à la photopériode et la lignée n° 27 semble avoir une valeur de Mop très basse, inférieure à 12,4 h.

Au sein des lignées ayant une durée de cycle végétatif proche de 70 jours pour un semis du 21 juin, on retrouve les quatre grands groupes de réponse à la photopériode décrits précédemment (figure 14). Ainsi, pour ces lignées, on remarque qu'une même durée de cycle est le résultat de différentes combinaisons des trois paramètres du modèle de réponse à la photopériode, Bvp, Mop et la sensibilité à la photopériode au sens strict.

## Conclusion

Avec l'étude des  $F_1$ , il a été mis en évidence qu'à chez les sorghos guinea d'Afrique de l'Ouest, la sensibilité à la photopériode est dominante par rapport à l'insensibilité. Les résultats obtenus avec les  $F_2$  montrent qu'au moins deux gènes majeurs, dont l'un pourrait être le gène de maturité  $Ma_1$  cité dans la littérature, et plusieurs gènes mineurs contrôlent la durée du cycle végétatif. L'étude des lignées recombinantes suggèrent également que plusieurs gènes, avec probablement des phénomènes de complémentation, ont une action sur le Bvp et la sensibilité à la photopériode au sens strict.

Les études de marquage moléculaire réalisées avec ces lignées recombinantes devraient apporter de nouvelles informations sur le nombre de gènes impliqués



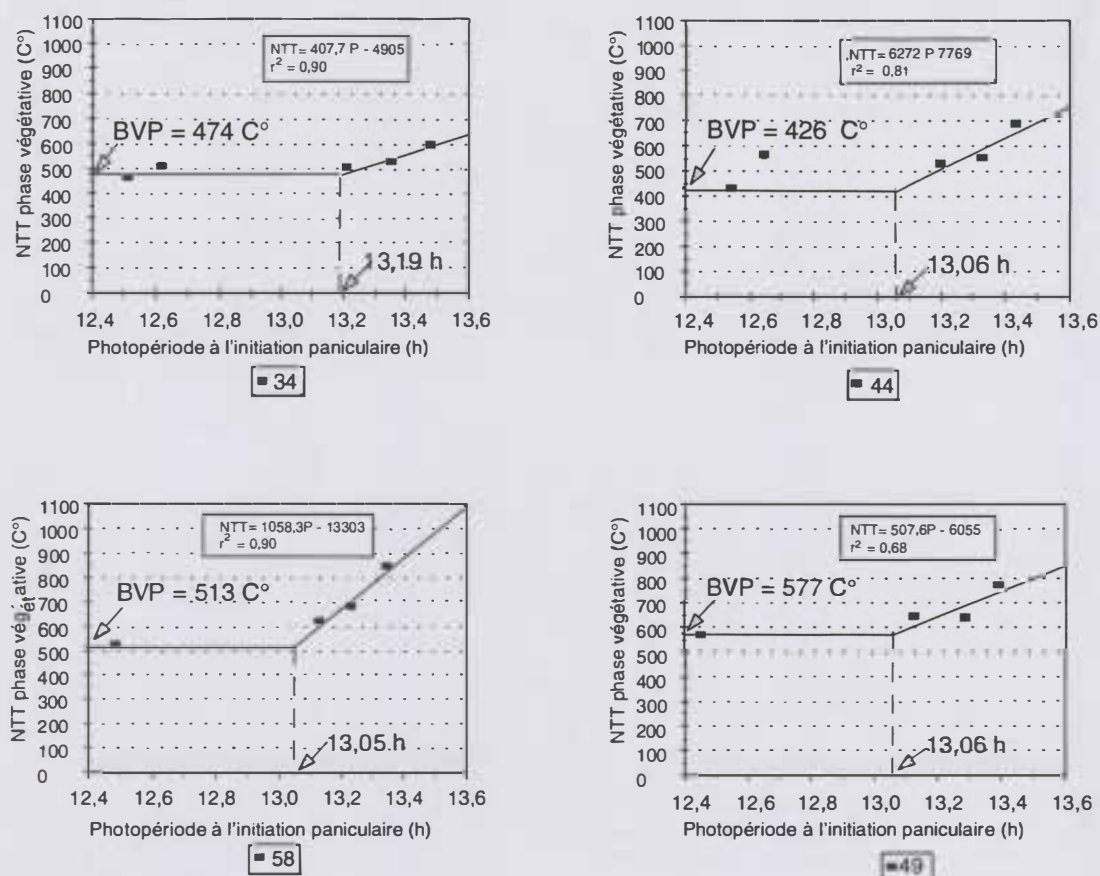


Figure 12. Principaux comportements photopériodiques selon le modèle Major adapté par Vaksman chez les lignées recombinantes Cauga semées à 5 dates à Saria.

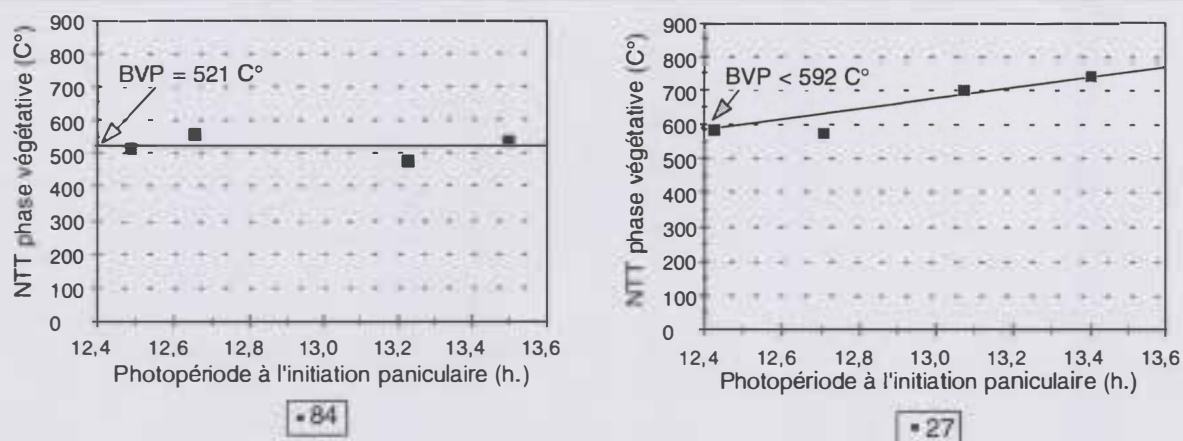
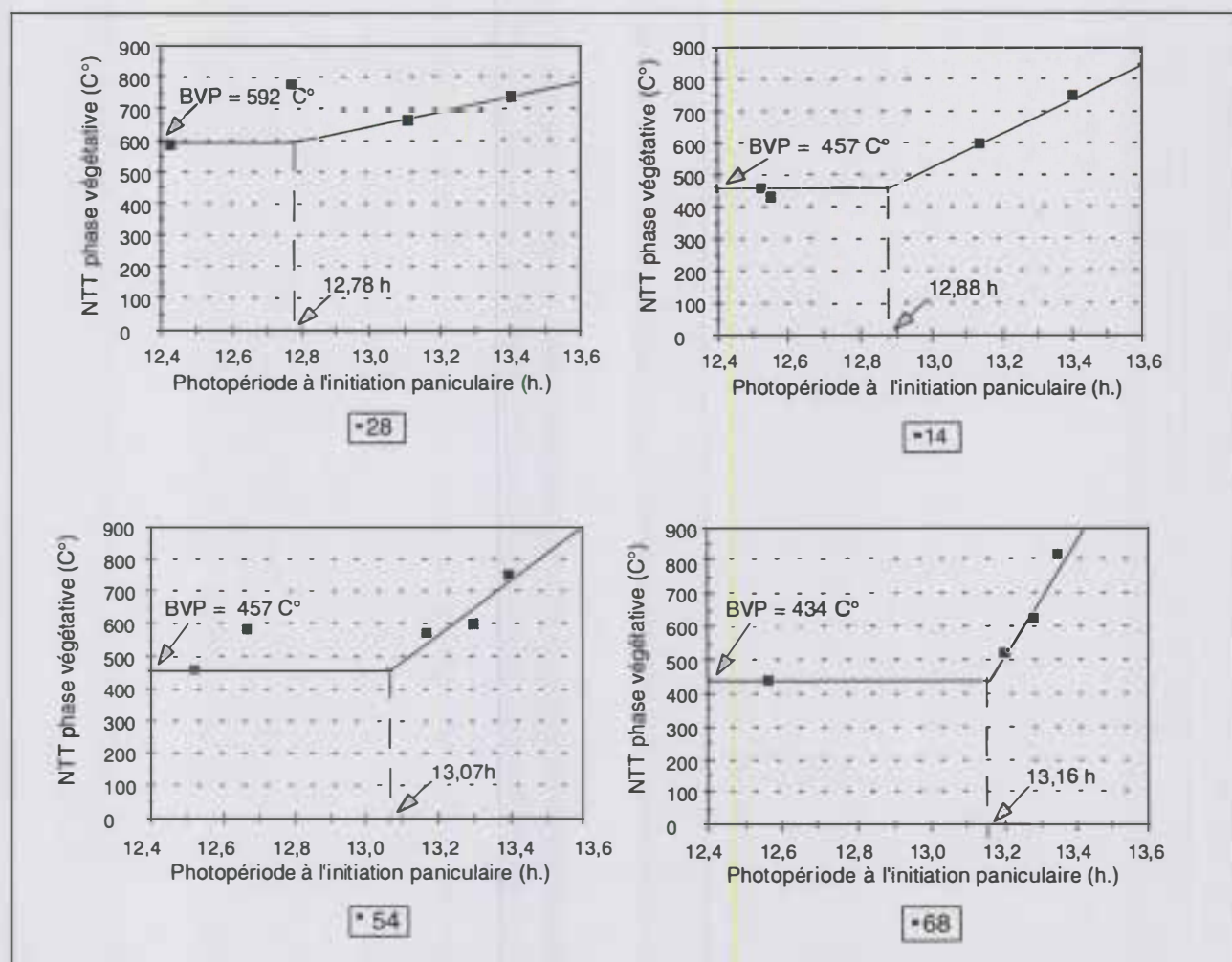


Figure 13. Exemples de deux comportements photopériodiques particuliers chez les lignées recombinantes Cauga (selon le modèle de Major adapté par Vaksman).

et leur rôle dans le contrôle génétique de la réponse à la photopériode. Parallèlement, pour une meilleure caractérisation du comportement photopériodique de ces lignées, il conviendra de compléter les observations de terrain avec au moins trois autres dates de semis. Enfin, les lignées ayant des réponses à la

photopériode bien contrastées seront croisées entre elles et avec des lignées testeurs afin de préciser la génétique des différentes composantes du photopériodisme.

Pour les programmes de sélection, les semis précoces sont recommandés pour mieux cribler le matériel



**Figure 14.** Variation des comportements photopériodiques pour des lignées recombinantes Cauga ayant une même durée de la phase végétative pour le semis du 21 juin.

photopériodique au sein des populations en ségrégation.

## Références bibliographiques

- ALAGARSWAMY G., RITCHIE J.T., 1991. Phasic development in Ceres-Sorghum Model. In Predicting Crop Phenology. (Ed) HODGES T., Crc Press, Boca Raton : 143-152.
- CHANTEREAU J., HARNADA M.A., MAIGA B.M., 1995. Amélioration du sorgho. Programme conjoint Icrisat-Cirad. Rapport de synthèse. Rapport annuel. Icrisat, Bamako, Mali, 52 p.
- FORSYTHE W.C., RYKIEL E.J., STAHL R.S., HSIN-I WU, SCOTTFIELD R.M., 1995. A model comparison for daylength as a function of latitude and day of year. Ecol. Modelling 80 : 87-95.

MAJOR D.J., 1980. Photoperiod response characteristics controlling flowering of nine crop species. Canadian Journal of Plant Science 60 : 777-784.

MAJOR D.J., ROOD S.B., MILLER F.R., 1990. Temperature and photoperiod effects mediated by the sorghum maturity genes. Crop Science 30 (2) : 305-310.

MUCHOW R.C., CARBERRY P.S., 1990. Phenology and leaf development in a tropical grain sorghum. Field Crop Research 23 : 211-237.

QUINBY J.R., 1967. The maturity genes of sorghum. Advanc. Agron. 19 : 267.

QUINBY J.R., KAPER R.E., 1945. The inheritance of three genes that influenced time of floral initiation and maturity date in Milo. J. Amer. Soc. Agron. 37 : 916.

QUINBY J.R., KAPER R.E., 1954. Inheritance of height in Sorghum. Agron. J. 46 : 211.

ROOD S.B., MAJOR D.J., 1981. Diallel analysis of the photoperiodic response of maize. *Crop Science* 21 : 875-878.

STOOP W. A., PATTANAYAK C. M., MATLON P. J., ROOT W. R., 1981. A strategy to raise the productivity of subsistence farming systems in the west African semi-arid tropics. *In Proceedings, sorghum in the Eighties. Icrisat*, 2-7 November 1981, A.P., India, p. 519-526.

VAKSMANN M., TRAORE S., NIANGADO O., 1996. Le photopériodisme des sorghos africains. *Agriculture et développement* 9 : 13-18.

VAKSMANN M., CHANTEREAU J., BAHMANI I., A.G. HAMADA M., CHARTIER M., BONHOMME R., 1998. Influence of night temperature on photoperiod response of a West African landrace. *Atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho, Icrisat/Cirad*, 17-20 mars 1997, Bamako, Mali.

# Importance du photopériodisme chez les sorghos tropicaux, conséquences pour un programme de sélection

M. KOURESSY, M. OUATTARA

Ier-Crra, Sotuba, BP 438, Bamako, Mali

M. VAKSMANN

Ier-Cirad, BP 1813, Bamako, Mali

**Résumé** — En Afrique de l'Ouest, la vulgarisation des lignées améliorées de sorgho s'est heurtée à la grande rusticité des variétés locales moins sensibles aux rigueurs du climat. Au Mali, l'extrême diversité des situations environnementales a entraîné une sélection adaptative des sorghos par les agriculteurs. Les paysans utilisent des céréales photopériodiques dont la durée du cycle varie en fonction de la date de semis. Ce comportement photopériodique permet l'ajustement du cycle des cultures aux longueurs probables de la saison des pluies. Il augmente la régularité de la production mais il est encore, dans une large mesure, méconnu des programmes de recherche agronomique. L'étude du comportement d'une petite prospection permet de montrer que le photopériodisme est une caractéristique générale des sorghos maliens qui épie environ deux semaines avant la fin de la saison des pluies de leur zone d'origine. Une variété locale de race caudatum tardive et naine a été identifiée et des croisements ont été réalisés avec une variété améliorée (E 35-1). Les résultats montrent que le photopériodisme dépend d'un gène majeur dominant ; la transmission de ce caractère est donc aisée. Le caractère de nanisme a été conservé ; il est indépendant de la précocité. Ces résultats ouvrent de nouvelles voies pour les programmes d'amélioration en zone Centre et Sud du Mali. Le photopériodisme ne doit plus être considéré comme un inconvénient. La recherche doit respecter et maîtriser ce caractère pour en faire bénéficier le matériel végétal en cours de création.

**Abstract** — The importance of photoperiod response in tropical sorghum and its consequence for breeding programs. The adoption of newly bred varieties in West Africa has so far been limited due to the high hardness of local landraces which are less sensitive to adverse climatic constraints. In Mali, farmers have selected highly adaptative sorghums for the tremendous diversity of the environmental situations. These farmers sow photoperiod sensitive sorghums whose photoperiod response enables the crops to adapt their cycle to the length of the rainy season. Although this increases yield stability it is often overlooked by agricultural research. The study of a small collection shows that photoperiod sensitivity is a general characteristic of Malian sorghums. The booting stage takes place about two weeks before the end of the rainy season

in their area of origin. A late, photoperiod sensitive, dwarf, local caudatum cultivar has been identified and crossed with an improved variety (E 35-1). The results show that the photoperiod sensitivity depends on one major dominant gene; it is therefore an easily transferable trait. The dwarfness trait could be maintained and is independent of earliness. These results open new avenues for breeding programs in Central and Southern Mali.

La démarche agronomique moderne cherche à remplacer les variétés locales par des produits plus performants, adaptés à un milieu bien maîtrisé et non limitant. Pourtant, en Afrique de l'Ouest, cet objectif se heurte à la grande rusticité des variétés locales moins sensibles aux rigueurs du climat.

L'activité agricole africaine s'exerce dans un contexte de risques permanents. Les variétés traditionnelles des paysans sont très diversifiées et résultent d'une longue période de sélection dans leur milieu. Cependant, peu de recherches ont été faites sur les relations entre les écotypes locaux et les conditions du milieu.

Les nouvelles variétés proposées par la recherche sont peu adaptées aux systèmes extensifs d'Afrique de l'Ouest et leur taux d'adoption est très faible (Stoop et al., 1981). En dépit de leur potentiel élevé, ces variétés se comportent mal lorsqu'elles se trouvent dans les conditions difficiles du milieu paysan.

Les sorghos ont développé des formes très variées et des comportements particuliers qui augmentent la régularité de leur production et sont encore, dans une large mesure, méconnus des programmes de recherche agronomique. Un des principaux caractères est le photopériodisme qui permet l'ajustement de la durée du cycle à la durée probable de la saison des pluies.



Une contrainte majeure de la sous-région est la variabilité de la date d'arrivée des pluies qui entraîne une grande incertitude sur les dates de semis. Le photopériodisme des céréales du Mali peut être considéré comme une réponse à cette variabilité car il permet de moduler la durée du cycle avec la date de semis. De cette façon, la floraison est groupée à la fin de la saison des pluies, ce qui permet d'éviter les dégâts causés par les oiseaux ou les moisissures en cas de floraison trop précoce, ou les stress hydriques en cas de floraison tardive (Cochemé et Franquin, 1967 ; Curtis, 1968a ; Andrews, 1973 ; Kassam *et al.*, 1975 ; Vaksman et Traoré, 1994 ; Vaksman *et al.*, 1996 ; Ouattara *et al.*, 1997).

Pour augmenter la productivité des sorghos africains, l'amélioration du rapport grain/paille a été un des objectifs prioritaires des programmes de sélection. En diminuant l'exubérance des pailles des variétés locales, on cherchait à améliorer l'efficacité des engrais par l'augmentation des densités de semis. Deux voies principales ont été explorées :

- l'introduction de gènes de nanisme pour réduire la taille des entre-nœuds ; la plupart des variétés modernes de sorghos sont naines et produisent une tige très courte permettant la mise en place de la culture sous une densité très forte ;
- la diminution de la durée du cycle pour diminuer la paille produite ; l'élimination du photopériodisme des sorghos a été le moyen préférentiellement utilisé.

On remarque que ces deux objectifs ont rarement été menés séparément, les variétés naines obtenues sont généralement précoces. Les sécheresses des années 70 au Sahel ont conforté les programmes d'amélioration dans ce sens, on estimait que l'obtention de cultivars précoces résoudrait le problème des saisons de pluies plus courtes (Lambert, 1983). Toutefois, l'expérience montre que, si les nouveaux cultivars sont potentiellement très productifs, les risques qu'ils font courir aux agriculteurs, en raison de leur manque de souplesse face à la variabilité de la date d'arrivée des pluies, les rendent inaptes à la culture en zone sud du Mali.

Les sélectionneurs éprouvent de grandes difficultés à améliorer les rendements des variétés photosensibles. Ce matériel a généralement un potentiel de rendement très bas. Les principaux problèmes sont :

- le contrôle du photopériodisme est très probablement polygénique, ce qui le rend difficile à utiliser dans un programme de sélection ;
- les variétés photopériodiques ont une bande restreinte d'adaptation ; la longueur du jour change en fonction des latitudes et chaque variété possède ses exigences propres ;
- l'utilisation de gènes de nanisme est difficile en raison du grand nombre de feuilles produites par la plante, ce qui provoque un empilement de feuilles préjudiciable à la culture.

Pour augmenter la résistance aux stress climatiques, la recherche se tourne vers une meilleure connaissance des écotypes traditionnels pour comprendre et exploiter leur caractère photopériodique. Dans cette étude, nous cherchons à évaluer la possibilité d'introduire le photopériodisme dans du matériel amélioré pour définir dans quelle mesure le maintien de ce caractère est compatible avec l'intensification de la production. A terme, il s'agit de pouvoir proposer aux paysans des variétés conciliant les aspects de productivité et de stabilité de rendement.

## Matériel et méthode

### Prospection et caractérisation des variétés

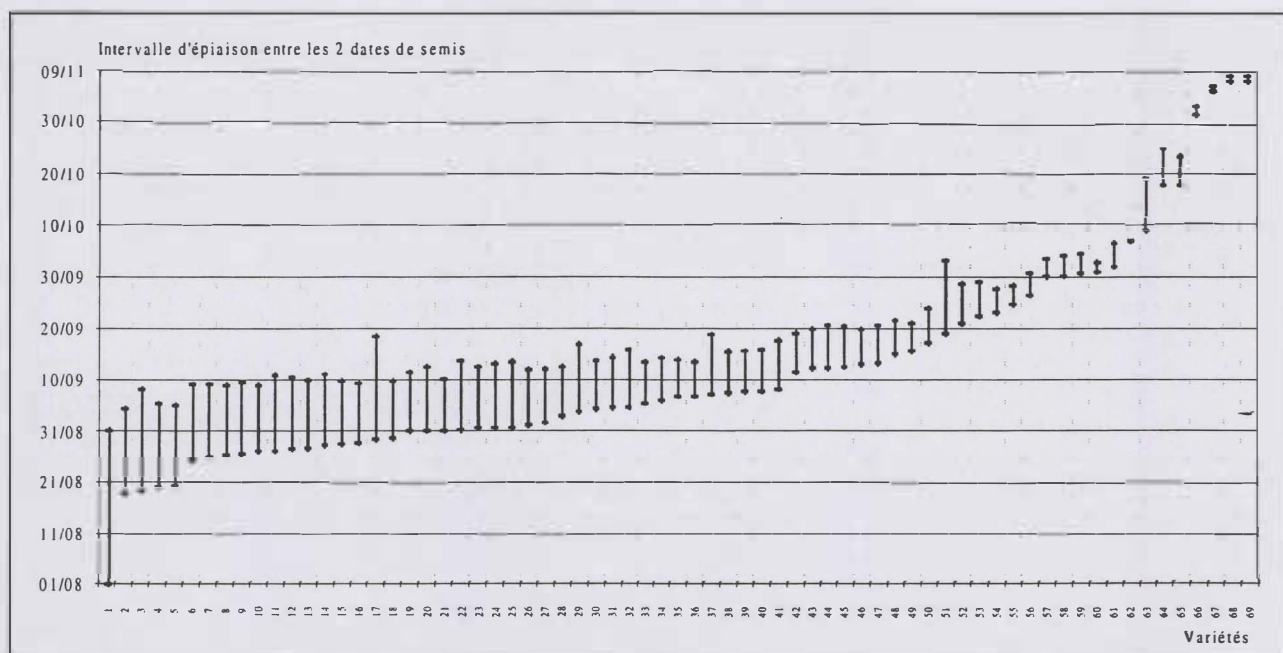
Une prospection des différents écotypes de sorgho a été réalisée sur un transect nord-sud du Mali, de Sokolo (latitude 14° 44' nord) à Kadiolo (latitude 10° 33' nord). Soixante-neuf écotypes ont été recueillis auprès des paysans de 44 villages. Sur l'ensemble des lots, la durée du cycle a été déterminée en fonction de la date de semis. Pour cela, un essai a été implanté à la station de recherche agronomique de Sotuba (latitude 12° 39' nord, longitude 7° 56' ouest), avec un dispositif en split-plot à deux répétitions. Les facteurs étudiés ont été : la date de semis (facteur principal) et la variété (facteur secondaire). Les semis ont été réalisés le 13 juin et le 15 juillet 1996.

### Introduction du photopériodisme dans du matériel amélioré

La plupart des variétés de sorghos améliorées productives sont de la race caudatum et de taille courte. L'identification au cours de notre prospection d'un sorgho de ce type, à la fois nain et photopériodique (Souroukokuou), nous a incités à tenter le transfert de ce caractère dans un cultivar amélioré (E 35-1).

Une étude de la croissance et du développement des deux variétés parentales a été effectuée à Sotuba. Une attention particulière a été portée à la production en biomasse de la tige.

Les parents et les descendances de première et seconde génération ( $F_1$  et  $F_2$ ) ont fait l'objet d'une étude de leur phénologie et de leur morphologie. Le semis a été réalisé le 1<sup>er</sup> juillet 1996. Mille trois individus de la deuxième génération ( $F_2$ ) ont été suivis. La durée (Sfd) allant du semis à l'apparition de la dernière feuille ligulée (feuille drapeau) a été particulièrement étudiée. La mesure du nombre d'entre-nœuds et de la taille de la tige a permis de calculer une longueur moyenne des entre-nœuds.

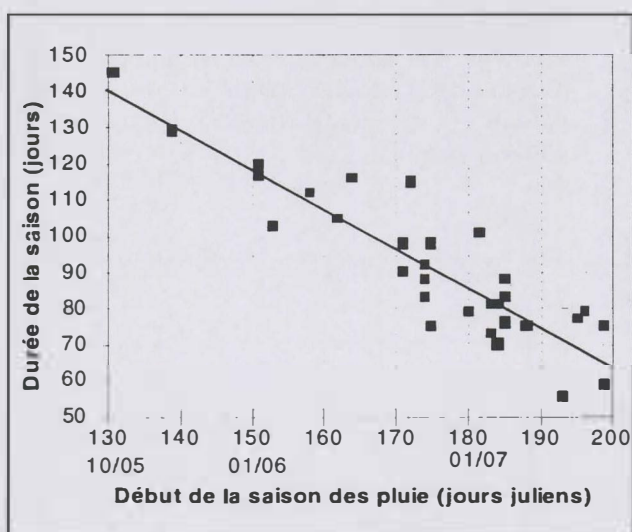


**Figure 1.** Caractérisation de la prospection de sorghos maliens. Chaque bâtonnet représente les dates d'épiaisons d'une variété. L'extrémité inférieure correspond au semis du 13 juin et l'autre extrémité au semis du 15 juillet.

## Résultats et discussion

### Photopériodisme des sorghos locaux

La figure 1 représente le diagramme des différences de durée de cycle des variétés collectées selon les dates de semis. Pour chaque variété, on donne les dates d'épiaisons pour les semis de juin et de juillet.



**Figure 2.** Relation entre la date de début de la saison des pluies et la durée de la saison des pluies à Ségou sur la période (1960-1990). Chaque point correspond à une année.

Les bâtonnets correspondant aux variétés photopériodiques sont de faible amplitude car la floraison est groupée. Pour une variété insensible à la photopériode, la taille du bâtonnet est de 30 jours et correspond à l'écart entre les deux semis. D'une manière générale, plus les variétés sont tardives, plus elles sont photosensibles. Sur 69 variétés collectées, un seul cultivar non-photopériodique a été identifié au nord du pays.

La figure 2 donne la relation entre les dates de début et la durée de la saison des pluies à Ségou sur une période de trente ans (1960-1990). La relation est hautement significative : un début précoce des pluies (par rapport à la moyenne) implique une durée de saison plus longue. Réciproquement, si le début est tardif, la saison sera plus courte. Ce comportement, caractéristique du climat soudano-sahélien (Sivakumar, 1988), découle de l'indépendance des dates de début et de fin de saison (Vaksmann *et al.*, 1996) et du fait que l'incertitude sur la date d'arrivée des pluies est plus grande que celle sur la date de fin des pluies (Sivakumar, 1990). C'est pourquoi la durée semis-épiaison des sorghos photopériodiques diminue avec le retard de semis. Ce comportement permet l'ajustement des cultures aux longueurs probables de la saison des pluies, et compense ainsi la variabilité du climat.

En plus de l'incertitude sur le démarrage de la saison des pluies, de nombreuses contraintes pèsent sur les paysans et entraînent un étalement des semis. Chaque année, les semis commencent à peu près dès l'installation des pluies et s'étalent dans le temps. En moyenne, le semis débute 10 jours après l'installation



des pluies et se poursuit sur 35 à 45 jours (Ouattara, 1996). Les raisons de l'étalement des semis sont multiples, on note principalement :

- l'installation erratique des pluies qui provoque une vague de semis après chaque pluie ;
- l'ordre d'implantation des spéculations (coton, maïs, mils et sorghos, etc.) ;
- le manque de matériel agricole ;
- les coutumes : les fêtes de début d'hivernage, les mariages, etc.

Ainsi, la durée de la période de culture et donc le potentiel de la saison résulte à la fois de la date d'installation de l'hivernage et de l'étalement naturel des semis dû aux systèmes des cultures. L'incertitude sur les dates de semis constitue une contrainte essentielle de la production en milieu rural africain. Les variétés photopériodiques s'adaptent bien à cette incertitude car elles permettent de réguler la durée du cycle.

La figure 3 schématise les différents types de comportements rencontrés sur un terroir. La date moyenne de fin de la saison des pluies est représentée par un trait vertical discontinu. L'étalement moyen des semis est représenté par un trait horizontal discontinu.

L'étalement de l'épiaison est représenté par un trait horizontal continu. On observe des variétés précoces qui épient environ de 30 à 40 jours avant la fin des pluies, des variétés de saison qui épient de 10 à 20 jours avant la fin des pluies et des variétés tardives qui peuvent épier un mois après la fin des pluies.

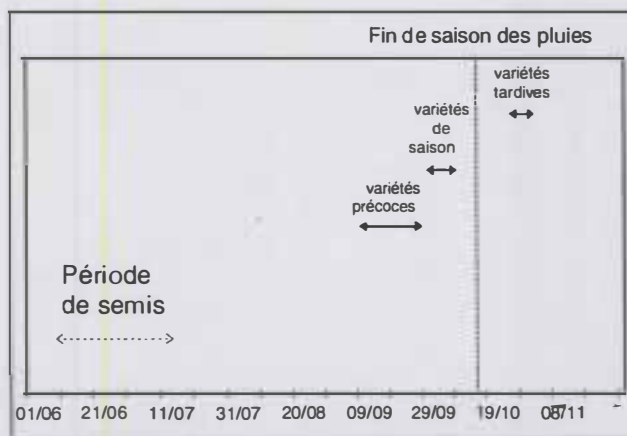
Les variétés de saison représentent la majorité des surfaces emblavées et constituent l'essentiel de la production et des stocks.

## Caractérisation du matériel

L'étude de la prospection a permis d'identifier un sorgho local de type caudatum (Souroukougou) photopériodique et nain. Cet écotype présentait toutes les caractéristiques des variétés améliorées (taille courte, panicule compacte) mais il était extrêmement tardif car originaire d'une zone pluvieuse du Mali (Lou-louni, 1 200 mm). Son cycle semis-feuille drapeau varie de 200 jours, pour un semis de mars, à 63 jours pour un semis de septembre.

Cette variété a été choisie pour introduire le photopériodisme dans un matériel amélioré : E 35-1 de type Zera-Zera provenant de la collection de l'Icrisat. E 35-1 est précoce et très faiblement photopériodique.

La figure 4 montre l'évolution au cours du temps de la matière sèche des tiges des deux variétés. La production de tige commence environ le 30<sup>e</sup> jour après semis et se termine à l'épiaison.



**Figure 3.** Stratégies de choix variétal en fonction des objectifs de production et des contraintes climatiques. Etalement des semis et périodes de floraison. Exemple de Sikasso.

Pour E 35-1, la production de tige se termine le 80<sup>e</sup> jour avec 8 000 kg/ha. Le rythme de croissance est approximativement de 160 kg de tige/ha/jour.

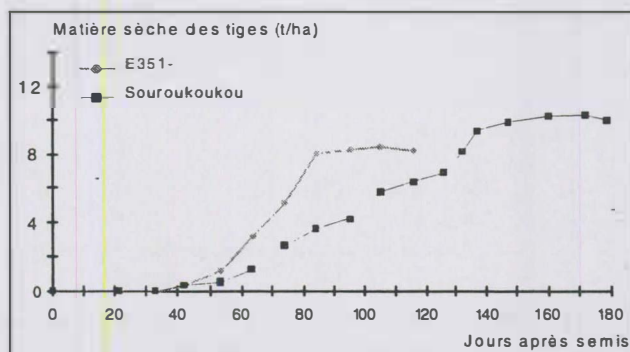
Pour Souroukougou, la production se termine au 150<sup>e</sup> jour avec 10 000 kg/ha. Le rythme de croissance est de 80 kg/ha/jour.

On voit que le taux de croissance des tiges pour E 35-1 est le double de celui de la variété locale Souroukougou. Cela est, en partie, dû au nanisme plus prononcé de Souroukougou. Toutefois, en raison de l'importance de la durée du cycle de la variété naine locale, sa biomasse finale produite est plus importante.

## Transfert du photopériodisme

Les objectifs du croisement réalisé entre E 35-1 et Souroukougou sont les suivants :

- obtenir des variétés photopériodiques à différents niveaux de précocité, intermédiaires entre les deux parents (durée semis-dernière feuille entre 90 et 130 jours) ;



**Figure 4.** Evolution de la biomasse des tiges pour les deux variétés de sorghos.

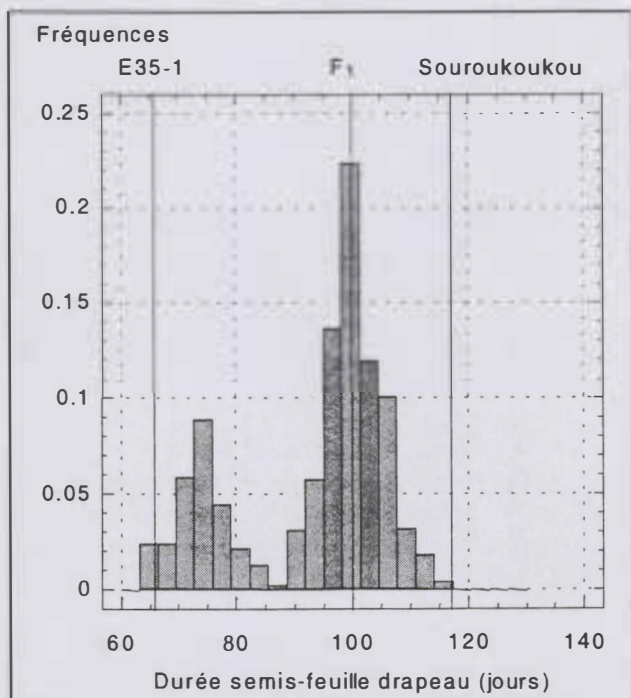
- conserver les faibles taux de croissance de Souroukoku ;
- conserver la qualité du grain d'E 35-1.

La figure 5 présente l'histogramme des durées semis-feuille drapeau dans la deuxième génération ( $F_2$ ) pour un semis du 1<sup>er</sup> juillet de 1 003 individus. Les durées des parents et de la première génération ( $F_1$ ) sont aussi indiquées.

L'allure de l'histogramme est très nettement bimodale : environ un quart des plants (276 individus) ont une précocité inférieure à 85 jours tandis que trois-quart des plants (727 individus) sont plus tardifs (semis-dernière feuille > 85 jours). La précocité de la génération  $F_1$  est centrée sur celle des plants tardifs.

La répartition, trois-quart et un quart, montre qu'entre ces deux variétés la tardiveté est sous la dépendance d'un gène majeur dominant. L'expérience montre que les variétés tardives sont généralement photopériodiques, il est donc probable que ce gène à l'état récessif diminue ou supprime la réponse photopériodique.

A côté de ce gène majeur, de nombreux gènes mineurs interviennent pour modifier la réaction photopériodique, ce qui justifie que peu d'individus soient aussi tardifs que le parent Souroukoku.



**Figure 5.** Histogramme de répartition des durées de la période végétative en deuxième génération, positionnement des parents E 35-1 et Souroukoku et de la première génération ( $F_1$ ).

## Transfert du nanisme

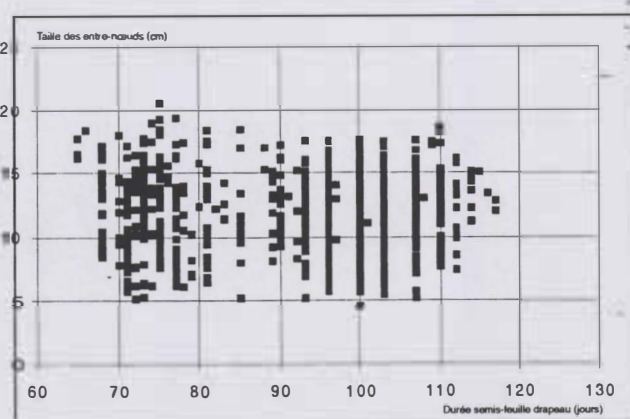
La taille moyenne des entre-noeuds est une mesure du degré de nanisme (Chantereau, non publié). L'étude de la répartition de la taille des entre-noeuds des hybrides  $F_2$  montre une répartition homogène de ce caractère entre les deux groupes de précocité (figure 6) :

- dans le groupe précoce (75 jours en moyenne de cycle végétatif), la taille moyenne des entre-noeuds est 12,4 cm avec un écart-type de 3,2 cm ;
- dans le groupe tardif (101 jours en moyenne de cycle végétatif), la taille moyenne des entre-noeuds est 12,2 cm avec un écart-type de 2,6 cm

Dans chacun des deux groupes de précocité, la répartition des tailles des entre-noeuds est identique (moyenne-écart-type). Ces deux caractères sont indépendants. La sélection de descendance tardive de taille courte sera donc facile et pourrait aboutir à l'obtention de variétés rustiques adaptées à l'incertitude climatique et potentiellement productives dans des conditions d'intensification agronomique, particulièrement en zone Sud du Mali.

## Conclusion

En Afrique soudano-sahélienne, l'activité agricole s'exerce dans des conditions extrêmement complexes et variées. Pour s'adapter au gradient climatique, à la variabilité interannuelle de la saison des pluies, à l'étalement des semis et à la position sur la toposéquence, les sorghos du Mali utilisent la sensibilité à la photopériode. L'absence d'attention portée, jusqu'à présent, au caractère « sensibilité à la photopériode », dans les programmes d'amélioration des plantes, explique certainement la faible diffusion des variétés améliorées dans le milieu rural africain.



**Figure 6.** Comparaison de la durée de la période végétative et de la taille moyenne des entre-nœuds du croisement E 35-1 x Souroukoku en deuxième génération.



A côté des variétés en phase avec la fin de saison des pluies, il en est d'autres, plus précoces et plus tardives, également photopériodiques mais différemment calées. Elles témoignent d'une stratégie paysanne de gestion des cultivars tenant compte des risques. Suivant les cas, les paysans recherchent la précocité pour éviter la disette (soudure) ou des productions plus tardives pour éviter les oiseaux et les moisissures.

En terme de phénologie, l'adéquation d'une variété à une écologie demande une grande précision. Une floraison mal ciblée, trop précoce ou trop tardive de 10 jours suffit à faire échouer la culture (Curtis, 1968b). Les programmes de vulgarisation agricoles se heurtent à une méconnaissance des cultivars (notamment de leur réaction à la photopériode) associée à une ignorance des conditions dans lesquelles les variétés seront cultivées. Ce constat fait ressortir la nécessité :

- d'une collecte la plus large possible de l'information sur le milieu, les variétés et les stratégies paysannes ;
- de caractériser systématiquement le comportement des variétés en cours de sélection pour leur réponse à la photopériode ;
- de pouvoir tester précocement le comportement du matériel en cours de création dans les conditions de culture du milieu paysan afin d'identifier les contraintes et d'assurer un retour rapide de l'information vers les chercheurs concernés.

Les premiers résultats issus des descendance de croisements montrent qu'il n'y a pas d'obstacle à l'introduction du photopériodisme dans du matériel amélioré. La réaction photopériodique dépend d'un gène majeur dominant compatible avec le caractère de nanisme essentiel à l'obtention de variétés productives. Ce travail doit déboucher sur la mise au point d'une gamme de variétés photopériodiques, de taille courte et de bonne qualité du grain qui pourront servir de base à l'utilisation du photopériodisme par les programmes d'amélioration du sorgho.

## Références bibliographiques

- ANDREWS D. J., 1973. Effects of date of sowing on photosensitive Nigerian Sorghums, *Expl., Agric.* 9 : 337.
- COCHEME J., FRANQUIN P., 1967. A study of the agroclimatology of the semiarid area south of the Sahara in West Africa. *Fao/Unesco*, 325 p.
- CURTIS D.L., 1968a. The relation between the date of heading of Nigeria sorghum and the duration of the growing season. *J. Appl. Ecol.* 5 : 215-226.
- CURTIS D.L., 1968b. The relation between yield and date of heading in Nigerian sorghums. *Expl. Agric.* 4.
- KASSAM A.H., ANDREWS D.J., 1975. Effects of sowing date on growth, development and yield of photosensitive sorghum at Samaru, Northern Nigeria. *Expl., Agric.*, 11 : 227-240.
- LAMBERT C., 1983. L'Irat et l'amélioration du mil. Présentation des travaux. *L'Agronomie tropicale* 38 (1) : 78-88.
- OUATTARA M., 1996. Savoirs paysans et prise en compte des risques climatiques dans la production du sorgho. Cas des paysans de la zone de Loulouni. *Mémoire de Dea, Isfra, Mali*, 32 p.
- OUATTARA M., VAKSMANN M., REYNIERS F.N., NIANGADO O., KOURESSY M., 1997. Diversité phénologique des sorghos du Mali et adaptation à la diversité des agro-écosystèmes. Mise en valeur d'un savoir. Communication présentée au colloque Gestion des ressources génétiques des plantes en Afrique des savanes, Bamako, 17-28 février 1997, à paraître.
- SIVAKUMAR M.V.K., 1988. Predicting rainy season potential from the onset of rains in Southern Sahelian and Sudanian Climatic Zones of West Africa. *Agricultural and Forest Meteorology* 42 : 295-305.
- SIVAKUMAR M.V.K., 1990. Exploiting rainy season potential from the onset of rains in the Sahelian zone of West Africa. *Agricultural and Forest Meteorology* 51 : 321-332.
- STOOP W. A., PATTANAYAK C. M., MATLON P. J., ROOT W. R., 1981. A strategy to raise the productivity of subsistence farming systems in the west African semi-arid tropics. In *Proceedings « sorghum in the Eighties »*, Icrisat, 2-7 November 1981, A.P., India. p. 519-526.
- VAKSMANN M., TRAORE S.B., 1994. Adéquation entre risque climatique et choix variétal du mil. In *Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale*. Ed. John Libbey Eurotext. Paris, France, p. 113-123.
- VAKSMANN M., TRAORE S., NIANGADO O., 1996. Le photopériodisme des sorghos africains. *Agriculture et développement* 9 : 13-18.

# Mise au point de tests de laboratoire pour évaluer la qualité du sorgho Relations avec certaines caractéristiques physico-chimiques des grains

G. FLIEDEL, M. YAJID, F. MATENCIO, P. FRANCALANCI

Cirad-ca, laboratoire de technologie des céréales, BP 5035, 34032 Montpellier cedex, France

**Résumé** — Deux tests de laboratoire ont été mis au point pour prédire la qualité technologique des variétés de sorgho en sélection : l'un pour une bouillie épaisse consommée traditionnellement en Afrique de l'Ouest, le tô, l'autre pour une autre bouillie épaisse traditionnelle au Botswana, le bogobe. Après avoir identifié les principaux critères de la qualité d'une bouillie à partir de plusieurs enquêtes de terrain, les auteurs ont transféré les méthodes traditionnelles de préparation au laboratoire du Cirad à Montpellier. Pour chaque type de porridge, une méthode d'évaluation de la qualité a été mise au point. Plusieurs paramètres ont été étudiés simultanément de façon à obtenir une bonne répétabilité et une meilleure différenciation des variétés de sorgho. Les relations entre certaines caractéristiques physico-chimiques des grains de sorgho et la qualité du tô ont été ainsi établies. La qualité du tô se révèle indépendante de la technologie de préparation et du facteur variétal. Le décortiquage du grain est un point essentiel. La taille des particules de farine est un facteur de qualité. La teneur variétale en amylose des grains et la forte solubilité de l'amidon dans l'eau chaude contribuent à une bonne qualité du tô. Il est suggéré de sélectionner les variétés de sorgho à forte teneur en amylose et à bonne propriété de décortiquage. Quant au bogobe, des études sont en cours pour identifier les caractéristiques physico-chimiques du grain associées à sa consistance, qui a été identifiée comme le principal critère de qualité après le goût.

**Abstract** — Development of laboratory tests to evaluate sorghum quality relationship with some physiological characteristics of the grain. Two laboratory tests were developed to predict the processing quality of sorghum varieties for two traditional preparations: To, a thick porridge traditionally consumed in West Africa, and Bogobe, a thick porridge consumed in Malawi. By using several field surveys, the main criteria for good porridge were identified and the authors transferred the traditional procedures for making the two porridges to the Cirad laboratory in Montpellier. For each porridge, a method for the evaluation of its quality has been developed. Several parameters have been simultaneously studied to obtain repeatable and better differentiation between sorghum varieties. The relationship between physicochemical characteristics and the quality of the To has been established. To quality was shown to be dependant on the technology used in its preparation, particularly grain dehulling and flour particle size, and on sorghum variety. High

grain amylose content and high starch solubility in hot water contribute to high quality. It is suggested that breeders should select sorghum varieties with high amylose content and good dehulling properties. As for Bogobe, studies are being implemented to identify the physicochemical characteristics of the grains related to the Bogobe consistency which was identified as the main quality criteria after taste.

Les sélectionneurs se sont pendant longtemps attachés à augmenter le rendement des variétés de sorgho sans se préoccuper de leur acceptabilité future par les consommateurs. La plupart des variétés améliorées qui présentaient de bonnes caractéristiques agronomiques, avaient une qualité technologique et culinaire médiocres, ne correspondant pas au goût des populations locales. Il est apparu nécessaire de prévoir, très tôt au niveau de la sélection, la qualité technologique d'une variété de sorgho, c'est-à-dire l'aptitude de cette variété à être transformée en un produit donné.

Le Laboratoire de technologie des céréales du Cirad-Ca a mis au point deux tests pour prédire la qualité technologique des variétés de sorgho en sélection : l'un pour une bouillie épaisse consommée traditionnellement en Afrique de l'Ouest, le tô, l'autre pour une autre bouillie épaisse traditionnelle au Botswana, le bogobe. Un troisième test est en cours de préparation sur l'ugali de Tanzanie et de plusieurs pays d'Afrique de l'Est.

La démarche utilisée pour la mise au point de ces tests de laboratoire a été la suivante : les principaux critères de la qualité d'une bouillie ont tout d'abord été identifiés à partir de plusieurs enquêtes effectuées sur le terrain ; la méthode traditionnelle de préparation a été ensuite transférée au laboratoire en utilisant des petites quantités de grains de sorgho ; une méthode d'évaluation de la qualité de la bouillie a été mise au point en optimisant tous les paramètres pour avoir une bonne



répétabilité et bien différencier les échantillons ; enfin, des relations entre certaines caractéristiques physico-chimiques des grains de sorgho et la qualité de la bouillie ont été établies.

## **Evaluation de la qualité du tô**

Les principaux critères de qualité du tô sont d'abord sa consistance qui doit être ferme, et sa capacité à se conserver toute la nuit sans qu'il y ait modification de texture et exsudation d'eau en surface. Viennent ensuite la couleur qui doit être claire puis, le goût peu amer, moins important puisqu'il peut être en partie masqué par la sauce d'accompagnement.

Le tô est préparé traditionnellement à partir d'une farine obtenue après décortilage et broyage des grains, suivis d'un tamisage pour éliminer les particules grossières. Une petite partie de la farine (un tiers de farine pour deux tiers d'eau) est dispersée dans de l'eau froide qui, suivant les ethnies ou les habitudes alimentaires, peut être ou non, acidifiée ou alcalinisée par addition de jus de citron, de tamarin ou de potasse. Ce « lait de farine » est ensuite versé dans de l'eau bouillante. Après 5 à 8 minutes de cuisson, une partie de la bouillie légère est mise de côté, et la farine restante est ajoutée par poignées dans la marmite tout en remuant vigoureusement avec une spatule en bois. Le mélange s'épaissit puis, au fur et à mesure de la cuisson, la pâte devient lisse, homogène et très consistante. Si elle est trop épaisse, sa texture peut être modifiée par addition d'une partie de la bouillie légère. Après 20 minutes de cuisson, le tô est prêt.

Cette méthode traditionnelle a été transférée au laboratoire (Fliedel, 1994), en utilisant des petites quantités de grains (environ 10 grammes pour un échantillon de tô). Plusieurs paramètres ont été optimisés pour avoir une bonne répétabilité et bien différencier les échantillons.

Après nettoyage, les grains de sorgho sont décortiqués au rendement constant de 75-80 % dans le décortiqueur de laboratoire Tadd, puis broyés en farine dans le broyeur à hélices Cyclotec muni de la grille de 500 micromètres (Fliedel et Yajid, 1992). La granulométrie moyenne de la farine est d'environ 75-100 µm. Le décortilage et le broyage sont effectués systématiquement la veille, car la consistance du tô diminue avec le temps de stockage de la farine, même au froid (4° C). La farine est alors dispersée dans 90 ml d'eau distillée froide et mise à cuire pendant 20 minutes dans un bain-marie sous agitation mécanique (400 tours par minute), les proportions farine/eau (masse pour masse, m/m) étant de 16,5 % m.s. Après la cuisson, le tô est immédiatement coulé dans deux cylindres en acier posés chacun sur une plaque de verre et rehaussés d'une bande adhésive. Il

est stocké jusqu'au lendemain dans une étuve à 35 °C et 85 % d'humidité relative pour éviter la déshydratation des pâtons en surface. Le lendemain, la bande adhésive est enlevée et le surplus de tô décapité avec un fil de pêche. Un emporte-pièce permet d'obtenir un échantillon de tô de hauteur et diamètre constants (2 et 3 centimètres respectivement).

La consistance de l'échantillon de tô est mesurée à l'Instron, machine universelle de traction compression, en effectuant des tests de compression entre un piston et une plaque. Au fur et à mesure du déplacement du piston (5 mm/mn), on enregistre une force de résistance à la compression qui augmente jusqu'à la rupture du pâton. C'est cette force à la rupture (en Newtons) qui a été choisie pour évaluer la texture du tô, en raison d'une meilleure différenciation des échantillons. Plus la force à la rupture est élevée, plus le tô est ferme. Une échelle d'évaluation de la qualité du tô a été établie en relation avec des tests d'acceptabilité sur le terrain : au-delà de 12 Newtons, le tô est considéré comme bon et au-delà de 15 Newtons comme très bon ; en dessous de 10 Newtons, le tô est mou et en dessous de 7 Newtons, il est très mou.

Cette méthode a été utilisée pour tester un grand nombre de variétés en sélection. Elle nous a permis de montrer que la consistance du tô dépend non seulement de la variété mais également de la technologie mise en œuvre.

## **Influence du décortilage des grains**

Le décortilage est une opération très importante dans la préparation du tô. Si l'on décortique progressivement deux variétés différentes en dureté, la fermeté du tô fabriqué à partir des grains décortiqués augmente avec le temps de décortilage jusqu'à un palier atteint après 11 minutes et correspondant à un rendement d'environ 70 %. Une deuxième expérience effectuée sur vingt autres variétés à cinq temps de décortilage différents montre que les valeurs du tô qui vont de moins de 5 Newtons à 14 Newtons pour les grains entiers, augmentent lorsque le rendement au décortilage diminue, jusqu'à des valeurs allant de 12 à 22 Newtons après 15 minutes de décortilage. Ainsi, quelle que soit la variété, plus le décortilage est poussé, c'est-à-dire plus les couches périphériques du grain et le germe sont bien éliminés, plus la fermeté du tô est améliorée. Ceci correspond à des farines de plus en plus pures contenant moins de fibres, lipides, matières minérales et enrichies en amidon par rapport à la matière sèche (couche à aleurone légèrement attaquée et teneur en protéines réduites). Ainsi, pour un rendement au décortilage inférieur à 75 % ou des grains décortiqués contenant moins de 2 % de lipides et moins de 1 % de matières minérales, nous n'avons pas trouvé, parmi les variétés analysées, de tô de mauvaise qualité (inférieur à 12 Newtons).

## Influence de la granulométrie de la farine

La consistance du tô dépend aussi de la finesse de la farine. Plusieurs variétés ont été décortiquées au rendement constant de 75 % et les grains décortiqués broyés dans différents broyeurs pour obtenir des farines de composition identique et de granulométrie différente allant de 75 - 100  $\mu\text{m}$  à plus de 900  $\mu\text{m}$ . Nous avons montré que, pour une même variété, plus la farine était fine, plus le tô était ferme. Les farines très fines contiennent un taux d'amidon endommagé plus élevé que les farines grossières. Une relation positive a été établie entre la fermeté du tô et le pourcentage d'amidon endommagé. Cet effet physique d'endommagement de l'amidon dû à un broyage très fin, est plus marqué pour les variétés de bonne qualité avec une augmentation de la fermeté du tô plus importante, que pour les variétés de mauvaise qualité.

## Influence des caractéristiques physico-chimiques des grains

Cette méthode de laboratoire d'évaluation de la qualité du tô a été appliquée à un grand nombre de variétés pour étudier l'effet variétal, et notamment l'importance de certaines caractéristiques physico-chimiques du grain, sur la consistance du tô. Trente deux cultivars en provenance du Mali ont été dernièrement analysés. La fermeté de leur tô varie de 6,1 à 18,3 Newtons avec une moyenne de 11,8 Newtons, balayant ainsi toute la gamme de qualité. Les résultats confirment ceux précédemment obtenus avec plusieurs autres lots de variétés.

La fermeté du tô est corrélée positivement et significativement à la teneur en amylose des grains entiers et dans une moindre mesure au rendement au décortiquage à 5 minutes et à la dureté des grains (Psi). Plus un grain est riche en amylose et dur avec un rendement au décortiquage élevé, plus le tô est de bonne qualité (tableau I). L'analyse physico-chimique des farines a montré que ce sont les caractéristiques de

l'amidon qui sont les plus hautement et significativement corrélées à la consistance du tô, notamment le pourcentage de fraction soluble à 90° C, température de cuisson du tô (coefficient de corrélation,  $r = + 0,84$ ) et la teneur en amylose ( $r = + 0,76$ ) (tableau II). Un tô est d'autant plus ferme que la teneur en amylose de la farine et la solubilité des macromolécules de l'amidon à 90 °C sont plus élevées. Une autre corrélation négative a été mise en évidence entre la fermeté du tô et la teneur en matières minérales de la farine. Les matières minérales étant situées à la périphérie du grain, le meilleur tô sera obtenu avec des grains débarrassés au mieux des parties périphériques c'est-à-dire avec des grains aptes au décortiquage qui peuvent être pilés ou abrasés mécaniquement sans s'écraiser.

Des régressions multiples progressives effectuées à partir de toutes les caractéristiques physico-chimiques du grain et de la farine ont confirmé l'importance de ces deux composantes sur la qualité du tô. La consistance a pu être expliquée à 80 % par la solubilité des macromolécules de l'amidon dans l'eau à 90° C et la teneur en matières minérales de la farine. Si les variables solubilité et gonflement de l'amidon ne sont pas introduites, c'est la teneur en amylose de la farine qui explique en premier la consistance du tô suivie par la teneur en matières minérales (60 % d'explication). Ainsi les variétés à haute teneur en amylose avec un taux de solubilité de l'amidon élevé donneraient un bon tô, notamment les variétés ayant une bonne aptitude au décortiquage c'est-à-dire celles qui produisent après abrasion ou pilage une farine pure, avec un minimum de matières minérales.

Pour sélectionner des variétés de sorghos de qualité pour le tô, les sélectionneurs devront tout d'abord choisir les variétés à grains riches en amylose (supérieure à 20,5 % m.s. correspondant à des farines à teneur supérieure à 24 % m.s.) (tableau III) et parmi celles-ci ne retenir que les variétés aptes au décortiquage c'est-à-dire les plus dures ou les plus vitreuses, à rendement au décortiquage élevé.

**Tableau I.** Relations entre les caractéristiques physicochimiques des grains de 32 cultivars de sorgho et la fermeté du tô.

	Minimum	Maximum	Moyenne	Coefficient de corrélation
Dureté des grains Psi (%)	8,7	26,7	15,6	- 0,46
Rendement au décortiquage à 5 mn (%)	37,9	90,7	73,7	0,49
Protéines N x 6,25 (% m.s.)	10,0	17,1	14,3	—
Lipides (% m.s.)	2,8	5,3	4,1	—
Matières minérales (% m.s.)	1,1	2,4	1,8	—
Amylose (% m.s.)	17,4	23,2	20,7	0,67
Température de fin de gélatinisation (° C)	93,1	98,9	95,1	—
Fermeté du tô (N)	6,1	18,3	11,8	1



**Tableau II.** Relations entre les caractéristiques physico-chimiques de la farine de 32 cultivars de sorgho et la fermeté du tô.

	Minimum	Maximum	Moyenne	Coefficient de corrélation
Protéines N x 6.25 (% m.s.)	11,2	17,4	14,0	—
Lipides (% m.s.)	2,1	4,2	2,9	—
Matières minérales (% m.s.)	0,8	1,8	1,2	- 0,61
Amylose (% m.s.)	19,7	26,4	23,8	0,76
Température de fin de gélatinisation (°C)	92,4	96,8	94,4	—
Solubilité de l'amidon (% m.s.)	6,6	30,3	20,1	0,84
Gonflement de l'amidon (g d'H <sub>2</sub> O % m.s.)	8,6	11,9	10,4	0,50
Viscosité apparente (unité Rva)	10	57	36	—
Fermeté du tô (N)	6,1	18,3	11,8	L

**Tableau III.** Relations entre la teneur en amylose de 32 cultivars de sorgho et la qualité du tô.

Force à la rupture (N)	Amylose du grain (% m.s.)	Amylose de la farine (% m.s.)	Groupes homogènes Test de Newman-Keuls (5 %)	Qualité du tô
> 18	> 22,5	> 26	A	Très très ferme
18 - 15	22,5 - 21,5	26 - 25	B	Très ferme
15 - 12	21,5 - 20,5	25 - 24	C	Ferme
12 - 10	20,5 - 19,5	24 - 23	D	Moyen
10 - 7	19,5 - 18,5	23 - 21	E	Mou
< 7	< 18,5	< 21	F	Très mou

## Evaluation de la qualité du bogobe

Le bogobe au Botswana, comme le tô en Afrique de l'Ouest (Sabumukama, 1996), est une bouillie consistante consommée aux principaux repas, accompagnée d'une sauce à base de légumes, de viande ou de poisson. Il diffère de celui-ci par la granulométrie et la concentration de la farine et par son mode de préparation. Les principaux critères de qualité du bogobe sont, après le goût, la consistance qui doit être très ferme ou ferme, la granulométrie de la farine qui doit être un mélange de particules fines et grossières, et la couleur : la farine blanche est préférée.

Le procédé traditionnel de préparation du bogobe est beaucoup plus simple que celui du tô. La femme verse directement la farine dans de l'eau bouillante tout en remuant avec un fouet traditionnel ou une cuillère en bois pour éviter la formation de grumeaux. Elle couvre ensuite la marmite tout au long de la cuisson qui peut durer de 20 à 45 minutes, avec toutefois deux agitations en début et en fin de cuisson. La fin de la cuisson est appréciée visuellement. Les proportions de farine et d'eau sont de 30/70 mais peuvent aller jusqu'à 50/50. Généralement il y a 35 % m.s de farine alors que pour le tô on a environ 20-25 % m.s. pour une durée de cuisson de

a environ 20-25 % m.s. pour une durée de cuisson de 20 minutes seulement.

Au laboratoire, la cuisson du bogobe a été réalisée pendant 20 minutes dans un bécber en acier de 250 ml posé à même la plaque chauffante. Les grains ont été au préalable décortiqués au rendement constant de 75 % puis broyés avec les deux broyeurs de laboratoire Cyclotec (grille de 1 mm) et Cemotec (réglage 1) dans des proportions respectives de 30 et 70 %, afin que la farine résultante ait une granulométrie similaire à celle d'une farine traditionnelle ou commerciale (constituée d'un mélange de particules fines et grossières). Comme dans le cas de la méthode traditionnelle, la farine est versée petit à petit dans l'eau bouillante tout en remuant avec une fourchette pour éviter la formation de grumeaux. Le bécber est couvert avec une capsule de verre et le réglage du chauffage de la plaque réduit. Deux agitations sont effectuées 5 minutes après le début et 5 minutes avant la fin de la cuisson. Les proportions farine/eau retenues sont les suivantes : 30 grammes de farine à 12 % d'humidité et 60 ml d'eau distillée, soit 44 % (m/m) de farine sèche.

La consistance du bogobe a été évaluée avec l'Instron en effectuant des tests d'extrusion. Après cuisson, la bouillie est immédiatement placée dans la cellule d'extrusion et est extrudée à travers une plaque perforée avec un piston qui se déplace à vitesse constante

(100 mm/mn). On enregistre dans un premier temps une force de résistance à la compression qui augmente au fur et à mesure du déplacement du piston jusqu'à ce que la bouillie passe au travers de la grille. La force constante d'extrusion enregistrée à ce moment là a été retenue pour évaluer la consistance du bogobe : plus la force d'extrusion (en Newtons) est élevée, plus la bouillie est consistante. Tous les paramètres, notamment la quantité d'eau, la concentration en farine et le temps de repos avant l'extrusion, ont été optimisés afin d'avoir une méthode répétable qui différencie bien les échantillons.

Cette méthode a été mise au point à partir de quatre farines commerciales ou traditionnelles et neuf variétés du Botswana, puis a été appliquée à trente et une variétés traditionnelles ou en sélection provenant de l'Icrisat du Zimbabwe et du Botswana. Avec une analyse de variance, ces variétés ont été classées, en fonction de la consistance du bogobe, en quatre groupes significativement différents au seuil de 5 % par le test de Newman-Keuls : le groupe dont la force d'extrusion est supérieure à 26 Newtons, celui dont la force est inférieure à 16 Newtons et deux groupes intermédiaires regroupant la majorité des individus (entre 16 et 22 Newtons, et entre 22 et 26 Newtons).

Des travaux sont en cours pour identifier les composantes du grain reliées à consistance de cette bouillie.

## Références bibliographiques

FLIEDEL G., 1994. Evaluation de la qualité du sorgho pour la fabrication du tô. *Agriculture et développement*, 4 : 12-21.

FLIEDEL G., YAJID M., 1992. Effect of milling on sorghum tô quality. *In proceedings of the 9th International Cereal and Bread Congress, 5th quadrenal symposium on sorghum and millet*, Paris, France, June 1-5, 1992, p. 73-86. Association internationale des sciences et technologies céréalières, Paris, France.

SABUMUKAMA C., 1996. Mise au point d'une méthode de laboratoire pour la préparation et l'évaluation de la texture d'un plat traditionnel à base de sorgho, le « bogobe » du Botswana. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur en Industries Agro-Alimentaires Ensia-Siarc, Montpellier, France, 50 p.

# Quantitative trait loci mapping at Cirad for the sorghum improvement

P. DUFOUR<sup>1</sup>, G. TROUCHE<sup>2</sup>, G. FLIEDEL<sup>1</sup>, M. DEU<sup>1</sup>,  
J.F. RAMI<sup>1</sup>, S. DA<sup>3</sup>, J. CHANTEREAU<sup>4</sup>, J.C. GLASZMANN<sup>1</sup>, P. HAMON<sup>1</sup>

1. Cirad-ca, BP 5035, 34032 Montpellier, France

2. Cirad/Inera, BP 596, 01-Ouagadougou, Burkina Faso

3. Inera, Crr- Farako-Ba, BP 910, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

4. Programme conjoint sorgho Icrisat/Cirad, BP 320, Bamako, Mali

**Abstract** — Techniques in the use of molecular genetic markers have been developed to evaluate the genetic resources and understand the organisation and expression of the sorghum genome. At Cirad, Dna (Rflp) markers has been used to establish one genetic linkage map in sorghum. This map provides an opportunity to identify and map genes contributing to yield components and grain quality. The detection of Qtls was undertaken using recombinant inbred lines derived from a cross between a guinea landrace and a caudatum landrace. The results have enabled two major and independent genomic regions contributing to yield components and grain quality to be located. Strong Qtls associations have been observed i) between the weight and number of seeds per panicle, the weight of one thousand seeds, the panicle form and the germinative ability, and ii) between the amylose content, the grain vitreousness, the grain hardness, and one locus coding for the absence of a testa in the grain. This preliminary study did not permit explanation of the observed antagonism between grain productivity and grain quality in sorghum breeding. However, it should be continued. Already, it has opened new paths for thinking in sorghum breeding programs.

**Résumé** — Identification de locus intervenant dans l'expression de caractères quantitatifs au Cirad pour l'amélioration du sorgho. Des techniques de marquage moléculaire ont été développées pour évaluer les ressources génétiques et comprendre l'organisation et l'expression du génome du sorgho. Au Cirad, des marqueurs de l'Adn (Rflp) ont ainsi été utilisés pour établir une carte génétique du sorgho. Cette carte permet d'identifier et de cartographier des locus intervenant dans l'expression de la qualité technologique du grain et des composantes du rendement. La recherche de Qtl (Quantitative trait loci) a été réalisée à partir d'une population de lignées recombinantes issue d'un croisement guinea X caudatum. Les résultats ont permis de localiser deux zones génomiques majeures et indépendantes pour les composantes de la productivité et de la qualité chez le sorgho. Des associations fortes de Qtl ont été observées entre (i) le poids et le nombre de grains par panicule, le poids de mille grains, la forme de la panicule et la faculté germinative et (ii) la teneur en amylose du grain, la vitrosité du grain, la

dureté du grain et un locus codant pour l'absence d'une couche brune dans le grain. Cette étude préliminaire n'a pas permis d'expliquer d'une façon simple l'antagonisme observé en sélection entre les composantes de la productivité et de la qualité des grains. Cependant elle devrait se poursuivre par de nouvelles expérimentations. D'ores et déjà, elle a ouvert de nouvelles pistes de réflexion quant aux programmes d'amélioration du sorgho.

Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) is staple diet of people living in much of the semi-arid tropics in Africa and Asia. In terms of annual global production in Africa, sorghum was the second most important cereal crop in 1995 (Fao, 1995).

Cirad (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement) has conducted cooperative research since the 1960's to evaluate the germplasm and to increase yield potential of cultivated ecotypes in western Africa.

However sorghum production is subject to various biotic and abiotic stresses, and acceptable grain quality is essential for traditional food like the thick porridge or 'tô' in western Africa. Sorghum breeding programmes at Cirad have never completely been successful in combining productivity, quality and adaptation. This is probably due to the polygenic nature of these traits.

The development of Dna markers and saturated genetic maps has enabled genes contributing to complex traits to be mapped using quantitative trait locus (Qtl) analysis (Paterson *et al.*, 1988). In sorghum several studies have permitted the dissection of complex polygenic traits into simple Mendelian factors and a better understanding of genetic corre-



lations between associated traits (Pereira and Lee, 1995 ; Paterson *et al.*, 1995 ; Lin *et al.*, 1995).

The present report describes a part of the Qtl mapping programme conducted at Cirad to (i) identify the map location and genetic effect of Qtls associated with grain quality and productivity in sorghum; and (ii) study the genetic basis for the negative phenotypic correlations found between these two important traits.

## Qtl analysis

The sorghum mapping population consisted of 110  $F_{5,6}$  recombinant inbred lines (Ril). It was developed at Inera (Institut d'études et de recherches agricoles) in Burkina Faso and was developed from an intra specific cross between ecotypes Is 2807 and Ssm 379, a caudatum from Zimbabwe and a guinea from Republic of South Africa, respectively. A sorghum linkage map was constructed for this population with heterologous maize and sugarcane probes. The protocol for the mapping and the resulting Rflp map (restriction fragment length polymorphism) are described in Dufour *et al.* (1996 a and b). The  $F_6$  families were evaluated in 1993 at the Saria breeding station (Inera, Burkina Faso) for yield compo-

nent traits (number and the weight of seed per panicle, weight of one thousand seeds). The primary components of 'tô' quality as defined by Fliedel (1994) were evaluated at the Cirad laboratory of cereals technology, (grain sucrose and protein content, and a physical measurement of the grain hardness related to the decortication). The endosperm texture (visual estimation of the grain hardness), the germination percent and panicle length and density were also mesured.

We used single factor analysis of variance (Edwards *et al.*, 1987) in this investigation, for the detection of Qtls. Thus for each locus a regression analysis was done with the  $F_6$  variable mean and the classes were the two genotypes scores. The threshold level of significance for a Qtl was a probability of  $< 0.5\%$ . The resulting significant F values (Qtl detection) were plotted against the positions of the loci on the Rflp map. A two factor analysis of variance with a F-tests at 0.01% level of significance was used to test for possible digenic epistasis among Qtls identified in the first stage. Figure 1 shows the Qtl-markers associated with grain and panicle traits across all the sorghum linkage groups. Putative Qtls were located to the markers in that region with the highest  $R^2$  values,  $R^2$  values represent the percentage of the total variation accounted for by each marker, vertical lines represent those markers that are significantly associated with each trait.

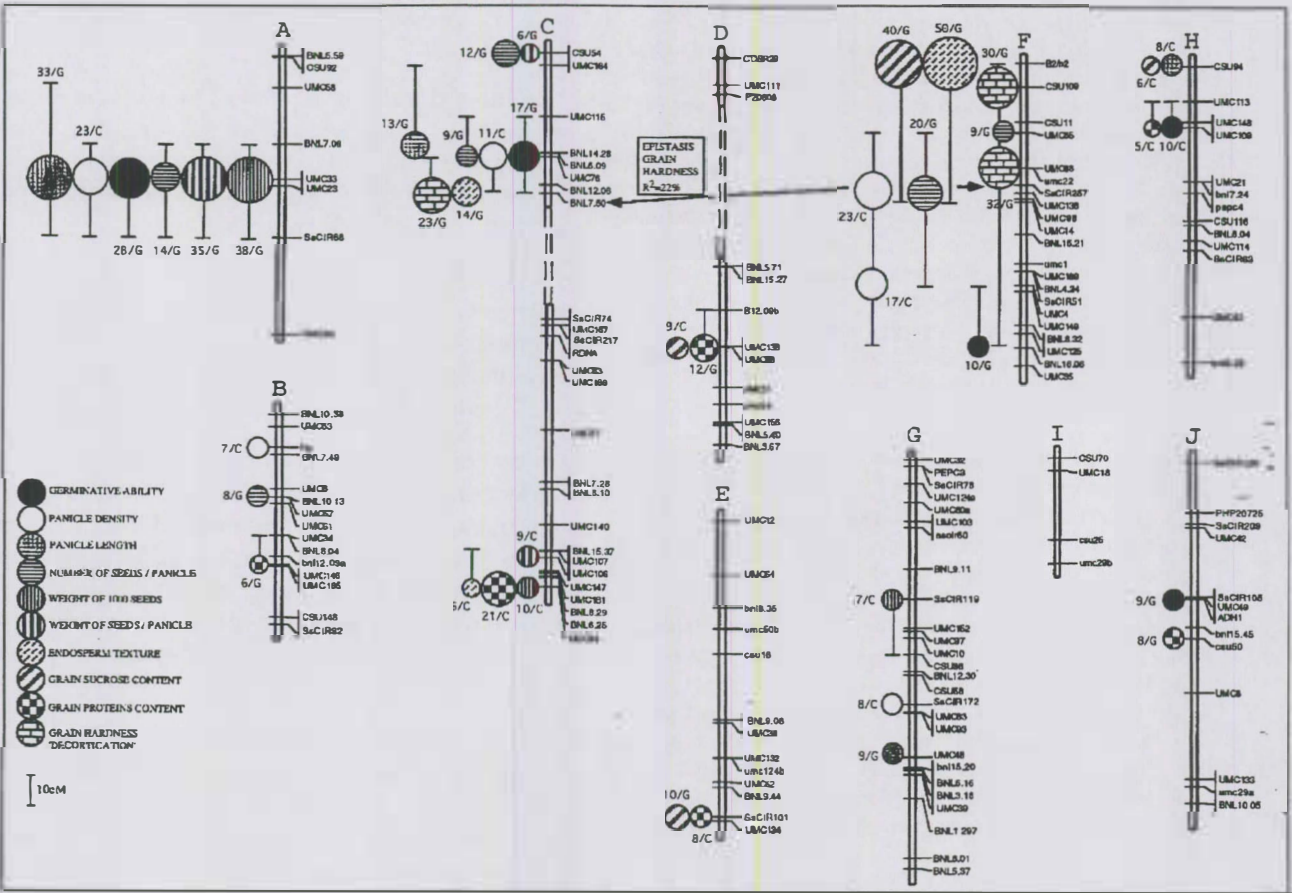


Figure 1. Qtls mapped.



## Qtls mapped

In this population, single factor analysis of variance identified four main genomic regions in linkage groups A, C and F with significant effects on the studied traits.

In the linkage group A, the loci Umc 23 and Umc 33 have a strong association with the yield components, the germinative ability and the panicle form. In the study of Pereira and Lee (1995), this location corresponds to a Qtl with major effects on several traits (tiller number, stem diameter, panicle dimensions, number of seeds-branches and plant height). Qtl studies in different species and/or populations strongly indicate that a relatively few genes account for very large portions of phenotypic variation, with additional genes accounting for progressively smaller portions of variance (Lande and Thompson, 1990). Thus in sorghum, this Qtl could correspond to a single key dwarfing gene with pleiotropic effects,  $dw_3$  (Schertz, 1973). Comparative genome analysis indicates that this major sorghum Qtl may correspond to orthologous dwarfing mutant genes in maize,  $br_1$  and/or  $an_1$  (Beavis *et al.*, 1991).

The yield components, the germinative ability and the panicle form are also associated in the linkage group C close to the segment delimited by Umc 115 and Bnl 7.50. In both genomic segments (A and C), the favourable alleles for the increase of yield, good germinative ability and largest panicle, are brought by the guinea parent. It reinforces the idea that these traits are strongly associated in sorghum races and encoded by major genes that are linked or have pleiotropic action, and could explain partly the weak recombination observed between them in this guinea X caudatum progeny.

It is possible that difference for germinative ability contributed indirectly to selection of guinea panicle and yield traits during the development of the Rils. Sorghum seeds are sown in hills. The more vigorous plants are more likely to survive and result in indirect selection for the guinea genes.

The genomic segment defined by the loci  $B_2.b_2$  and Umc 114 in the linkage group F is particularly important for the eating quality in sorghum. We observed a strong association between the allele  $b_2$  coding for the absence of a testa in the grain (Doggett, 1988) and major Qtls for the grain hardness, the sucrose content and the structure of endosperm. It confirms visual quality defined by breeders (without testa and with a corneous endosperm).

Secondary genomic regions also influence quality. The negative relation generally observed between protein and sucrose contents is shown by two Qtl associations in linkage groups D and E with opposite effects to those predicted by the parental phenotypes.

Concerning Qtls in linkage groups D and H for protein and sucrose content the favourable alleles for the quality came from the caudatum Is 2807. These Qtls may be responsible for the transgressive segregation observed for the eating quality in this progeny. We also found evidence of epistasis between Qtls in genetic variation of grain hardness, mapped in linkage groups C and F. But this interaction should be confirmed because analysis of epistasis is more subject to the problem of false-positive detections than is analysis of individual Qtls.

Comparative genome analysis with maize indicates that the major sorghum Qtl for sucrose content on linkage group F may correspond to orthologous genes in maize,  $se_1$  and/or  $o_2$  (Matz *et al.*, 1994 ; Tadmor *et al.*, 1995). Moreover, the minor Qtl for sucrose content on linkage group H corresponds certainly to the waxy locus, mapped in a homologous location in sorghum by Melake-Berhan *et al.* (1993).

Finally in our study, there is only one significant and negative Qtls association for the grain productivity and quality in the linkage group C between the loci Bnl 15.37 and Umc 84. Consequently it does not help to explain why it is so difficult to obtain favourable recombinants for both traits.

## Prospects

This Qtl experiment probably does not reflect the real complexity of quantitative inheritance for the grain productivity and quality in sorghum, but simply has detected a subset of Qtls. Especially in sorghum, where we observed a strong sub-structuring of genetic diversity (Deu *et al.*, 1994, 1995), strict additivity of gene action is unlikely to describe individual effects of Qtls. Dominance (inaccessible in Rils) and epistasis effects should be investigated in new progenies, experimental designs and new environments to understand inheritance of individual genes contributing to these traits at the molecular level.

However, the sorghum Rflp map made at Cirad, will provide the opportunity to accelerate the breeding programmes via a marker-assisted selection (Mas). For example, Mas could enable mapped Qtls for yield from caudatum genetic background to be incorporated into guinea cultivars, obtaining more productive selected lines and maintaining the guinea characteristics of eating quality and adaptation to the cultural environment of western Africa. In practical sorghum breeding programmes, it would be helpful to have Pcr markers (polymerase chain reaction) that are technically simple and rapid, by a conversion of mapped Rflp markers into Sts markers (sequence tagged sites) and/or the development of microsatellites markers (Brown *et al.*, 1996).

The mapping of Rflp heterologous probes has demonstrated that gene content and order (synteny) is highly conserved between genomes of grass species (Moore *et al.*, 1995). Indeed, sorghum and foxtail millet maps show extreme similarity with rice (Paterson *et al.*, 1995 ; Devos pers. Com.). Like in the present report, synteny has made it possible to compare locations of genes and Qtls affecting common phenotypes between reproductively isolated species. Synteny will increase our knowledge on physiological and biochemical pathways and lays the foundation for new strategies for gene and genome studies in sorghum. Comparative Qtl mapping for the grain quality between maize and sorghum will continue at Cirad (J.F. Rami, Ph.D).

## Acknowledgements

This work corresponding to a part of a Ph.D Thesis (Dufour, 1996), has been supported by a grant from the Commission of European Communities Std3 programme, and corresponds to a cooperation between Cirad and Inera. We thank all European and African scientists for their collaboration in this sorghum programme.

## References

- BEAVIS W.D., GRAND D., 1991. A linkage map based on information from F2 populations of maize (*Zea mays* L.). *Theor. Appl. Genet.* 82 : 636-644.
- BROWN S.M., HOPKINS M.S., MITCHELL S.E. SENIOR M.L., WANG T.Y., DUNCAN R.R. GONZALES-CANDELA F., KRESOVICH S., 1996. Multiple methods for the identification of polymorphic simple sequence repeats (SSRs) in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), *Theor. Appl. Genet.*, 93 : 190-198.
- DEU M., GONZALEZ-DE-LEON D., GLASZMANN J.C., DEGREMONT I., CHANTEREAU J., LANAUD C., HAMON P., 1994. RFLP diversity in cultivated sorghum in relation to racial differentiation. *Theor. Appl. Genet.* 88 : 838-844.
- DEU M., HAMON P., CHANTEREAU J., DUFOUR P., D'HONT A., LANAUD C., 1995. Mitochondrial DNA diversity in cultivated sorghum. *Genome* 38 : 635-645.
- DOGGET H., 1998. Sorghum. JOHN WILEY and sons, Inc., New-York, NY, USA.
- DUFOUR P., 1996a. Cartographie moléculaire du génome du sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) : Application en sélection variétale ; cartographie comparée chez les andropogonées. Thèse. Université Paris-Sud. Paris 11 Orsay, 103 p.
- DUFOUR P., GRIVET L., D'HONT A., DEU M., TROUCHE G., GLASZMANN J.C., HAMON P., 1996b. Comparative genetic mapping between duplicated segments on maize chromosomes 3 and 8 and homoeologous regions in sorghum and sugarcane. *Theor. Appl. Genet.* 92 : 1024-1030.
- EDOUARDS M.D., STUBER C.W., WENDEL J.F., 1987. Molecular marker-facilitated investigations of quantitative-trait loci in maize. I. Numbers, genomic distribution and types of gene action. *Genetics* 116 : 113-125.
- FLIEDEL G., 1994. Evaluation de la qualité du sorgho pour la fabrication du tô. *Agriculture et développement* 4 : 12-21.
- LANDE, RUSSELL, R. THOMPSON, 1990. Efficiency of marker-assisted selection in the improvement of quantitative traits, *Genetics*, 124 : 743-756.
- LIN Y.R., SCHERTZ K.F., PATERSON A.H., 1995. Comparative analysis of QTLs affecting plant height and maturity across the Poaceae, in reference to an interspecific sorghum population. *Genetics* 141 : 391-411.
- MATZ E.C., BURR F.A., BURR B., 1994. The BNL Map. Maize Genetics Cooperation News Letter. 68 : 198-208.
- MELAKE-BERHAN A., HULBERT S.H., BULTER L.G., BENNETZEN J.L., 1993. Structure and evolution of the genomes of *Sorghum bicolor* and *Zea mays*. *Theor. Appl. Genet.* 86 : 598-604.
- MOORE G., DEVOS K.M., WANG Z., GALE M.D., 1995a. Grasses, line up and form a circle. *Curr. Biol.* 5 (7) : 737-739.
- PATERSON A.H., LANDER E.S., HEWITT J.D. PETERSON S., LINCOLN S.E., TANKSLEY S.D., 1988. Resolution of quantitative traits into Mendelian factors by using a complete linkage map of restriction fragment length polymorphisms. *Nature* 335 : 721-726.
- PATERSON A.H., LIN Y.R., LI Z., Schertz K.F., DOEBLEY J.F., PINSON S.R.M., LIU S.C., Stansel J.W., IRVINE J.E., 1995. Convergent domestication of cereal crops by independent mutations at corresponding genetic loci. *Science* 269 : 1714-1718.
- PEREIRA M.G., LEE M., 1995. Identification of genomic regions affecting plant height in sorghum and maize. *Theor. Appl. Genet.* 90 : 380-388.
- SCHERTZ K.F., 1973. Single Height-Gene Effects in Hybrids of doubled haploid *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Crop Science*, 13 : 421-423.
- TANDMOR Y., AZANZA F., HAN T., ROCHEFORD T.R., JUVIK J.A., 1995. RFLP mapping of the sugary enhancer 1 gene in maize. *Theor. Appl. Genet.*, 91 : 489-494.



# L'utilisation des sorghos guinea en sélection dans le programme conjoint Icrisat-Cirad sur le sorgho

J. CHANTEREAU<sup>1</sup>, C. LUCE<sup>2</sup>, M. AG HAMADA<sup>1</sup>, G. TROUCHE<sup>3</sup>

1. Programme conjoint sorgho Icrisat-Cirad, BP 320, Bamako, Mali

2. Cirad-Ca, BP 5035, 34032, Montpellier, France

3. Cirad/Inera, BP 596, 01 Ouagadougou, Burkina Faso

**Résumé** — Les sorghos guinea se distinguent par leur grande taille, leur photopériodicité et leur taux d'allogamie élevé. Les croisements entre des sorghos guinea ou avec des sorghos d'autres races aboutissent souvent à des complémentations géniques négatives et faiblement génératrices de recombinants intéressants. Toutes ces particularités limitent leur utilisation en sélection. Néanmoins des progrès dans l'efficacité de la sélection sont envisageables d'une part, par une meilleure connaissance des écotypes locaux guinea, et d'autre part par l'utilisation d'un plus grand éventail de méthodes et des critères de sélection appropriés. Ainsi, la reconnaissance récente de trois groupes génétiquement différenciés de sorghos guinea a permis de mieux orienter les croisements. Dans le programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad, un travail d'évaluation des écotypes guinea ouest-africains a abouti à la sélection d'accèsions comme Is 15401, productif, résistant au striga et à la cécidomyie. De nombreux croisements pour la sélection généalogique ont été également effectués. Les croisements intra-guinea ont donné des lignées intéressantes avec une taille raccourcie, une plus grande productivité et donc un meilleur rapport paille/grain. D'autre part, les croisements de guinea avec des sorghos d'autres races ont montré qu'il est possible d'associer, dans un génotype, des qualités de productivité de la race caudatum et des qualités du grain de la race guinea. Enfin, le travail de sélection a fourni un composite guinea prêt à être exploité en sélection récurrente.

**Abstract** — The use of guinea sorghums in the Icrisat-Cirad joint sorghum breeding program. The guinea sorghums are characterized by tallness, photoperiod-sensitivity and high rate of cross pollinization. Crosses between guinea sorghums and sorghum from other races often lead to negative genetic complementarity with a low number of promising progenies. These distinctive features restrict the use of guinea sorghums in breeding programs. Nevertheless, improved knowledge of the guinea landraces and use of a greater array of appropriate methods and selection criteria would increase the efficiency of breeding efforts. For example, the recent identification of three guinea groups based on genetic diversity enabled crosses to be better managed. Evaluations of West African Sorghum local varieties in the joint Icrisat-Cirad sorghum program has identi-

fied accessions such as Is 15401, characterized by high grain production and resistance to striga and midge. In addition, many crosses have been produced and pedigree selection pursued. The intra-guinea crosses have provided interesting derived lines with shorter height, higher yield and better harvest index. Moreover, crosses between guinea sorghums and sorghums from other races have shown that it is possible to obtain progenies which combine the grain productivity found in the caudatum race and grain quality found in the guinea race. A random-mating guinea population has also been produced for future improvement through recurrent selection.

Les sorghos de la race guinea constituent la majorité des cultivars traditionnels en Afrique de l'Ouest. Ainsi, Toure et Scheuring (1982) en ont trouvé 75 % dans une prospection Orstom/Fao de 775 écotypes locaux maliens. De son côté, Zongo (1991) en a identifié 93 %, dans une importante prospection de sorghos traditionnels burkinabè. Les guinea sont aussi très présents en Afrique australe avec un centre de diversification au Malawi. Leurs principales qualités sont la rusticité et la qualité du grain liée à leur utilisation en alimentation humaine. En revanche, leur grande taille et leur potentialité limitée de production les rendent peu aptes à valoriser l'intensification agronomique.

De nombreux programmes de recherche se sont attachés à les utiliser en sélection soit pour leur amélioration propre soit pour transférer leurs qualités à des variétés à haut rendement. Les résultats ont été décevants et les difficultés sont nombreuses. Certaines de ces difficultés sont liées au matériel guinea lui-même ; sa grande taille et son photopériodisme le rendent, en effet, difficile à autoféconder, manipuler en croisement et évaluer visuellement. D'autres difficultés viennent de la mauvaise complémentation génétique des guinea en croisement avec des sorghos

sélectionnés ou issus d'autres races. Cette mauvaise complémentation conduit le plus souvent à des descendances retournant au type guinea plutôt qu'à des descendances recombinaut des caractéristiques intéressantes des deux parents (Scheuring et Niangado, 1989). Un certain nombre de travaux récents ont cherché à expliquer cette situation. Dégremont (1992) a fait valoir que le retour au type guinea des produits de tels croisements était lié à la dominance de nombreuses caractéristiques de cette race (anthocyane du feuillage, grande taille, photopériodisme, panicule lâche). Dufour (1996), dans des études génétiques de lignées recombinantes issues de croisement guinea x caudatum, a observé des distorsions de ségrégation en faveur des marqueurs moléculaires guinea. Ces distorsions ont été attribuées à une sélection post-méiotique. Ce résultat ainsi que d'autres excluent un déroulement anormal de la méiose. Enfin les sorghos guinea ont un taux d'allogamie estimé à 20-30 % (Ollitrault *et al.*, 1997, Chantereau et Kondombo, 1994). Il est plus élevé que celui des autres races et paraît entraîner une certaine sensibilité à l'inbreeding.

C'est dans ce contexte que le programme conjoint l'crisat-Cirad a entrepris, à la station de Samanko (Mali) depuis 1989, un travail de sélection utilisant les sorghos guinea. Les objectifs en sont l'obtention de cultivars photopériodiques fleurissant entre le 20 septembre et le 10 octobre et destinés à la zone soudanienne. L'expérience acquise et un certain nombre de résultats variétaux sont ici rapportés avec ceux d'autres travaux de la sous-région menés sur le matériel guinea.

## Méthologie de sélection des guinea

### Les types variétaux

#### La variété locale

Le type variétal guinea prépondérant dans le monde rural africain est celui de la variété locale. Il est commun aux écotypes utilisés traditionnellement par les paysans. En raison de leur taux naturel d'allogamie et des pratiques culturales, ces écotypes ont des taux d'hétérozygotie relativement élevés qui doivent générer de l'hétérosis (Ollitrault *et al.*, 1997).

L'étude et la multiplication en station de cultivars locaux issus de prospections passent par des autofécondations. On constate alors souvent un affaiblissement des potentialités de production attribuable à des effets d'*inbreeding* (Chantereau et Kondombo, 1994).

Un moyen de pallier ce problème est de maintenir en conservation de longue durée les talons des prospections pour y revenir quand une déperdition de qualité d'un numéro intéressant est constatée en station. Ce numéro peut alors être réjuvéné sous sa forme originale par une multiplication de son talon en pollinisation libre dans des parcelles isolées.

#### La lignée

La lignée est la formule variétale préférée des sélectionneurs de la sous-région ouest africaine. Ils tirent de nombreuses lignées à partir d'écotypes locaux avec les problèmes qui viennent d'être précisés. Le plus souvent, les lignées sont obtenues après l'induction d'une variabilité au moyen de croisements entre géniteurs complémentaires, de créations de composites ou encore de traitements mutagènes.

#### Le composite

Il existe en Afrique de l'Ouest un petit nombre de composites guinea locaux mis au point par la recherche avec l'aide de la stérilité génique (Ms3). Actuellement, aucun n'est exploité pour lui-même, ni, à notre connaissance, engagé dans un processus d'amélioration par sélection récurrente. Les composites servent de réserve potentielle de variabilité.

#### L'hybride

Il existe, dans les écotypes locaux guinea, un nombre appréciable de cultivars de type mainteneur de stérilité. Toure et Scheuring (1982) ont évalué leur pourcentage à plus de 30 % dans une prospection de sorghos maliens. Très peu d'écotypes ont été convertis en lignée mâle stérile. Leur grande taille, qui rend difficile leur pollinisation par de bonnes lignées pollinisatrices toujours plus courtes, ne justifie pas un tel travail (Chantereau, 1983).

Il y a cependant eu des obtentions d'hybrides à partir de variétés guinea restauratrice de fertilité (Toure et Scheuring, 1982 ; Chantereau, 1983 ; Toure, 1992). Les résultats ont montré que les hybrides pouvaient manifester un hétérosis appréciable pour le rendement en grain et ses composantes. Malheureusement, les hybrides ont souvent montré une qualité médiocre de grain et une très grande sensibilité à la verse en raison de leur grande taille associée à des poids paniculaires élevés.

Il apparaît que le type hybride guinea est un matériel expérimental qui n'a pas sa place en milieu rural ouest-africain. Il reste cependant intéressant pour explorer les aptitudes à la combinaison des différents types de guinea. A ce titre, un effort pourrait être fait pour disposer de plus de lignées guinea mâles stériles guinea.



## Les aptitudes à la combinaison

On sait peu de choses dans ce domaine. Les croisements pour la sélection généalogique intra-guinea ou guinea avec des sorghos d'autres races se font sur une base empirique.

Par expérience, on sait que la combinaison de guinea avec des sorghos sélectionnés aboutit fréquemment à des produits ayant des grains de très mauvaise qualité (grains colorés à couche brune et forte teneur en tanins). En ce qui concerne la couche brune, il y a souvent une complémentarité entre le gène  $B_1$  fréquent chez les guinea et le gène  $B_2$  fréquent chez les sorghos sélectionnés. Intervient également le gène *spreader* présent chez certains sorghos guinea qui accentue l'effet de la couche brune des produits des croisements. Enfin, il y a des complémentarités négatives des gènes pour la couleur du grain.

Des travaux récents ont révélé l'existence de trois groupes de guinea génétiquement différenciés (Deu et al., 1994, Chantereau et al., 1997) :

- les sorghos guinea ouest africains (essentiellement *gambicum* et *guineense*) ;
- les sorghos guinea sud-africain (avec les *conspicuum*) ;
- les sorghos guinea à petits grains *margaritifera* ou *kende* au Mali qu'il n'est pas possible de rattacher à une origine géographique précise.

Il conviendrait de mieux connaître les aptitudes à la combinaison de ces différents groupes de guinea entre eux et avec d'autres types de sorghos. Un diallele impliquant des représentants des trois ensembles de guinea est actuellement entrepris au Burkina Faso. Il devrait apporter des informations intéressantes. Sa réalisation est cependant rendue difficile par le nécessaire recours à la castration manuelle et par l'appartenance des géniteurs à des groupes différents de photopériodicité.

## Les méthodes de sélection

### Les prospections

Tous les sélectionneurs de l'Afrique de l'Ouest s'intéressant aux sorghos guinea ont utilisé des prospections pour en évaluer les meilleures accessions. De nombreux écotypes locaux ont ainsi été mis en valeur et ont rencontré un succès certain en milieu paysan (cas de S 29, Nazongala, Ouedezoure au Burkina Faso ou Tiemarifing au Mali).

L'analyse et l'exploitation de la variabilité du matériel paysan existant sont loin d'être achevés comme le montrent les travaux récents de Zongo (1991) et Yagoua (1994). Il convient donc de les poursuivre. L'exemple de la variété camerounaise guinea-cau-

datum Is 15401 repérée il y a peu à la station de Samanko, est dans ce sens encourageant. Cette accession est productive, elle a un beau grain et elle s'avère résistante au striga ainsi qu'à la cécidomyie. Comme elle semble appartenir au groupe mal connu des sorghos camerounais Yolobri, une étude approfondie des sorghos de ce type pourrait donner d'autres résultats variétaux intéressants.

Si une sélection massale ou généalogique est entreprise sur une bonne prospection, il est préconisé de rebrasser, en fin de travail, les choix (belles panicules ou bonnes lignées). Cette disposition permet de se prémunir contre d'éventuels effets d'inbreeding.

### La création de lignées par sélection généalogique

Le problème de cette méthode de sélection est son faible rendement en lignées recombinantes performantes. Pour augmenter les chances d'apparition de génotypes intéressants, la sélection doit s'effectuer sur des populations  $F_2$  et  $F_3$  importantes (au moins 3 000 plantes en  $F_2$  et 100 plantes en  $F_3$ ). Il faut aussi, dans certain cas, conduire les descendance en sélection généalogique au-delà des  $F_7$  pour obtenir leur fixation.

Se pose également la question du choix des géniteurs à retenir pour les croisements exploités en sélection généalogique. Ainsi, beaucoup d'hybridations entre écotypes locaux guinea génèrent peu de variabilité et sont sans intérêt. Dans un avenir proche, une plus grande efficacité dans les choix des géniteurs est attendue avec :

- l'élargissement de la diversité parentale consécutif à une plus grande obtention de lignées sélectionnées améliorées à base de guinea ;
- une meilleure connaissance des groupes complémentaires d'aptitude à la combinaison chez les différents sorghos guinea.

### La création de lignées par Ssd (*Single Seed Descend*)

La méthode Ssd (et plus généralement les méthodes bulk) a été préconisée par Dégremont (1992) pour mieux exploiter, dans les descendance de croisements avec des guinea, la variabilité intra-lignée drastiquement réduite par la sélection généalogique à chaque génération. En conduisant ainsi, à la fixation, un plus grand nombre de descendance qu'en sélection généalogique, la méthode doit augmenter les chances d'obtenir des recombinants intéressants. Son intérêt est toutefois limité par le fait qu'elle nécessite d'autoféconder, à chaque génération, toutes les plantes participant à la production de semence en Ssd. En effet, le taux d'allogamie des guinea oblige à cette mesure.

## Les back-cross

La méthode des back-cross a été peu utilisée avec les sorghos guinea. On peut cependant citer le travail fait par l'Irat dans les années 60 pour diminuer la hauteur d'écotypes locaux burkinabè à partir d'un géniteur américain donneur de gènes de nanisme : CK 60. Ce travail a abouti à la sélection de lignées guinea de taille moyenne (environ 3 m) telles Irat 6 ou Irat 7 qui n'ont pas eu en milieu paysan le succès escompté. Les explications de cet échec sont un back-cross insuffisamment poussé et le recours à un donneur de nanisme ayant une mauvaise qualité de grain.

Ce relatif insuccès ne condamne pas la méthode. Pour le montrer, la lignée Irat 6 a été de nouveau recroisée au début des années 90 sur son parent récurrent local S 29 pour de nouveaux back-cross. Ce travail a donné la lignée S 29 BC1/2-1 toujours de taille moyenne mais à qualité de grain améliorée par rapport à S 6. Cette lignée est actuellement testée avec satisfaction en milieu paysan au Burkina Faso.

## La mutagenèse

La mutagenèse est un moyen potentiellement rapide pour tirer des variétés locales guinea des mutants de taille raccourcie mieux adaptés à une agriculture intensive. Un certain nombre de travaux ont visé à cet objectif (Bretaudeau et Traore, 1989). Les meilleurs résultats ont été obtenus par l'utilisation de rayons Gamma que l'on fait agir sur les graines. La plupart des mutations ainsi induites sont défavorables et récessives. Leur expression intervient donc surtout en  $M_2$  et le repérage de mutants intéressants demande l'examen d'un grand nombre de plantes. Par ailleurs, la fixation des mutants est souvent plus longue que ne le prévoit la théorie. Cette voie a des adeptes qui peuvent se prévaloir de résultats intéressants dont récemment la variété Miksor 86-30-41 sélectionnée par l'Ipr (Institut polytechnique rural de Katibougou au Mali) suite à l'irradiation de la variété locale malienne guinea : Csm 388.

## Les critères de sélection

La sélection de matériel à base de guinea demande de retenir un grand nombre de critères de sélection pour à la fois conserver les qualités de la race (notamment le photopériodisme et la qualité du grain) et en améliorer les caractéristiques agronomiques.

### Le photopériodisme

Ce caractère est la clef de l'adaptation des cultivars aux fortes contraintes climatiques de l'Afrique de l'Ouest (Vaksmann *et al.*, 1994). Il permet l'ajustement à la fin de la saison des pluies du cycle des

variétés qui échappent ainsi aux sécheresses tardives, aux moisissures des grains et aux attaques d'oiseaux. Il est le principal facteur de la stabilité du rendement aussi bien en quantité qu'en qualité.

Dans le programme de sélection généalogique, on évalue le photopériodisme à partir des tests préliminaires de rendement des lignées en voie de fixation, semées à deux dates différentes de semis en saison des pluies. Pour chaque génotype, le rapport du raccourcissement de son cycle en fonction du décalage de semis permet de quantifier sa sensibilité à la photopériode.

Il faut, par ailleurs, être prudent dans la réalisation d'essai de contre-saisons avec des sélections de croisements impliquant des guinea. La difficulté d'initiation florale de ces sorghos cultivés à cette époque (Vaksmann *et al.*, 1998) peut biaiser les choix.

## La qualité des grains

La qualité des grains de sorgho guinea met en jeu différentes caractéristiques visuelles et physico-chimiques dont le rôle varie suivant l'utilisation culinaire. Depuis longtemps, on connaît l'importance de l'absence de couche brune et de la faible teneur en tannins pour les grains servant à l'alimentation humaine. Récemment, les travaux de Fliedel (1995) ont montré que le rendement élevé au décorticage (lié à la vitrosité du grain) et la haute teneur en amylose qui caractérisent les grains de sorghos guinea blancs étaient aussi favorables à la fabrication d'un bon tô. Dans la mesure du possible et dans la limite des coûts d'analyses, ces différents critères de qualité du grain seront pris en compte dans les sélections.

## Les caractères agronomiques

Il convient, en premier lieu, d'améliorer le rapport grain/paille du matériel sélectionné à base de guinea. Cette amélioration passe par une réduction de la taille de la tige avec l'utilisation de gènes de nanisme, la diminution du tallage, l'augmentation du poids paniculaire. Il faut veiller également à la résistance à la verse qui, en fin de cycle, est associée au caractère *stay green*. C'est pourquoi, une attention est portée à ce dernier critère.

Le caractère *tan* est souvent cité comme un des facteurs de l'amélioration des qualités agronomiques des guinea. Cela ne semble pas certain. La meilleure présentation du grain que ce caractère assure ne paraît pas compenser une certaine perte de vigueur végétative. Aussi dans nos sélections, sont conservés aussi bien des génotypes guinea améliorés *tan* que des génotypes anthocyanés.



## Les résistances aux ravageurs des cultures

L'évaluation des résistances aux ravageurs des cultures met en jeu non seulement le programme de sélection mais également tous ceux du Programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad concernant l'entomologie, la malherbologie et la phytopathologie.

Tout au long du processus de sélection, une attention particulière est apportée aux maladies foliaires mais également à l'anthracnose sous toutes ses formes. L'anthracnose du cou et de la panicule se révèlent extrêmement préjudiciables sur le matériel guinea. A l'avenir, ce problème doit faire l'objet d'un plus grand suivi. De plus, les attaques de moisissures de grains sont évaluées visuellement et à l'aide de tests de germination.

Les insectes n'attaquent pas de façon notable le matériel sélectionné intra-guinea hormis la mouche du pied en station. La situation est différente dans le cas des descendance de croisements entre guinea et caudatum dans lesquels nous éliminons le matériel trop sensible aux punaises des panicules et à la cécidomyie.

Le striga est un problème majeur de la sous-région. Pour des raisons de coût et de place en parcelle infestée, les lignées sélectionnées ne sont évaluées, pour leur résistance à ce parasite, qu'une fois leur fixation faite. Il serait évidemment préférable de pouvoir sélectionner plus tôt.

## Les résultats

Seuls les résultats variétaux marquants et diffusables du programme sont présentés ici.

## Les variétés locales

Depuis sa création, le programme a évalué près de 500 écotypes locaux guinea issus de prospections ou de collections (venant notamment de l'Ier, du Cirad ou de l'Icrisat).

Ce travail permet de présenter une grille variétale des meilleurs numéros proposés à la diffusion selon un zonage climatique (tableau I).

Deux accessions sont plus particulièrement intéressantes : Nazongala et Is 15401. Le rendement moyen de Nazongala, en essai dans le programme depuis 1991, s'établit à 20,7 q/ha (17 % de plus-value par rapport aux témoins locaux). Celui de la variété Is 15401 testée en essai à Samanko et à Sikasso depuis 1992 est de 19,7 q/ha. Les deux écotypes se distinguent par la qualité et la grosseur de leur grain. De plus, Is 15401, classé comme un guinea-caudatum, est résistant au striga et à la cécidomyie.

Actuellement Nazongala et Is 15401 sont évalués en milieu paysan où ils sont appréciés (Chantereau *et al.*, 1998).

## Créations de lignées guinea améliorées

Depuis 1989, 101 croisements entre matériel guinea ont été réalisés pour l'obtention de lignées en sélection généalogique. Les 75 premiers croisements ont été à ce jour entièrement exploités avec l'obtention d'un petit nombre de recombinants intéressants. De ce travail, deux lignées guinea à paille raccourcie ont été retenues : Cgm 19/9-1-1 et Cgm 39/22-1-2. Le tableau II présente des résultats d'essais variétaux conduits avec Cgm 19/9-1-1 à la station de Samanko.

**Tableau I.** Grille variétale des meilleurs écotypes testés par le programme.

Zonation climatique	Ecotype	Cycle semis-épiaison en jours pour un semis fin juin (date d'épiaison)	Origine
Zone des 700 à 900 mm de pluie	Nazongala	75 (15/09)	Burkina Faso
	Oueni	75 (15/09)	Burkina faso
Zone des 900 à 1 100 mm de pluie	57-26	85 (25/09)	Sénégal
	Cms 335	85 (25/09)	Mali
	Cms 644	85 (25/09)	Mali
	Cms 660	82 (22/09)	Mali
	Ips 0001	85 (25/09)	Mali
Zone des pluies supérieures à 1 100 mm	50-27	95 (05/10)	Sénégal
	Csm 209	95 (05/10)	Mali
	Csm 485	95 (05/10)	Mali
	Is 15401	105 (20/10)	Cameroun



Tableau II. Synthèse de quatre essais variétaux conduits avec Cgm 19/9-1-1 à Samanko depuis 1994.

Variétés	Rendement (kg/ha)	% du témoin local	Date de floraison (pour un semis fin juin)	Hauteur (cm)
Cgm 19/9-1-1	2870	134	28/09	310
témoin local (Csm 388)	2140	(100)	02/10	480

La lignée Cgm 19/9-1-1 qui est anthocyanée apporte un gain substantiel de rendement par rapport au témoin local. Son grain est de bonne qualité. Testée en 1996 dans 18 tests paysans (Chantereau *et al.*, 1998), elle a confirmé sa valeur productive en zone nord soudanienne avec un rendement moyen de 1 530 kg/ha contre 1 290 kg/ha pour les variétés paysannes. Cependant, elle a montré une certaine instabilité de rendement liée à sa sensibilité au striga. De plus, les paysans ont fait observer sa difficulté de battage. Des essais paysans ultérieurs établiront mieux ses atouts et ses faiblesses ainsi que ses chances de succès auprès des agriculteurs.

La lignée Cgm 39/22-1-2 n'est évaluée en essai variétal que depuis deux ans. Ses potentialités de production sont inférieures à celles de Cgm 19/9-1-1 mais un peu supérieures à celles du témoin local Csm 388. Sa particularité est d'être une lignée *tan*. Sa valorisation passera certainement par la vérification de l'intérêt de son caractère *tan* en technologie alimentaire.

### Créations de lignées tirées de croisements guinea x caudatum

Plus de 70 croisements ont été ou sont exploités en sélection pedigree pour l'obtention de lignées à partir de croisements entre du matériel guinea et des variétés caudatum le plus souvent sélectionnées. Parmi toutes les créations variétales tirées de ce travail, un numéro, actuellement dans les essais du réseau sorgho (Rocars), se distingue : Cem 326/11-5-1-1 qui a reçu le nom de Cirad 406 ou Icrisat 2001.

Tableau III. Performances agronomiques moyennes des meilleures entrées des essais du réseau sorgho dans 6 localités en 1995.

Variétés	hauteur moyenne (cm)	Cycle semis-floraison (jours)	Rendement (kg/ha)
Naga White	207	67	3190
Sariaso 10	232	77	3080
Cirad 406 ou Icsv 2001	230	77	2780

Cirad 406/Icrisat 2001 est issu d'un croisement entre F2-20 une bonne lignée sélectionnée caudatum du Sénégal, et Is 9225, un écotype guinea d'Ouganda à beau grain résistant à l'anthracnose. Ce numéro démontre que l'on peut combiner de bonnes caractéristiques agronomiques venant d'un parent caudatum avec la qualité du grain venant d'un parent guinea. Il associe notamment, ce qui est rarement observé, une panicule compacte portant des épillets de type guinea avec de longues glumes ouvertes insérant un grain pivotant.

Dans les essais 1995 du réseau sorgho, il est arrivé en troisième position pour le rendement (tableau III).

Des analyses de qualité de grain ont été faites au laboratoire de technologie des céréales du Cirad à Montpellier. Cirad 406 (Icsv 2001) a été comparé à Sariaso 10, un lot de quatre écotypes guinea ouest africains (Cms 388, Cms 485, Nazongala, Is 15401) et un lot de 7 lignées sélectionnées à haut rendement. Différentes caractéristiques du grain et de la farine ont été mesurées comme le montre le tableau IV.

Les résultats montrent que Cirad 406 (Icsv 2001) a une qualité de grain pratiquement équivalente à celle des variétés locales. Ils montrent aussi qu'il est possible d'améliorer la qualité du grain du matériel à haut rendement avec du germoplasme guinea.

### Composite guinea

Parmi les résultats du programme, les semences de la population de base d'un composite d'écotypes guinea ont été produites en 1996. Ce matériel est issu du brassage de 13 écotypes locaux guinea après introduction, dans chacune de ces 13 entrées du gène de stérilité Ms3 et retour au parent initial sur cytoplasme guinea par un ou deux back-cross. Il conviendra de définir la stratégie de son utilisation en sélection.

### Conclusion

Le travail d'amélioration des sorghos guinea s'est intensifié récemment en Afrique de l'Ouest. De plus en plus de chercheurs et de sélectionneurs s'y consacrent. Par ailleurs, l'approfondissement des connais-

**Tableau IV.** Evaluation de la qualité du grain de Cirad 406 (Icscv 2001) comparé à des variétés locales et sélectionnées.

Variétés	Vitrosité	rendement au décorticage (%)	teneur en amylose (%)	fermeté du tô (Newton)
Cirad 406 ou Icscv 2001	2,8	86,0	24,5	12,4
Sariaso 10	3,9	68,0	22,6	4,5
Moyenne des 4 variétés locales guinea	2,7	79,8	25,2	15,9
Moyenne de 7 lignées sélectionnées	3,4	78,2	23,4	9,6

sances de la spécificité des guinea assure progressivement une meilleure compréhension de leur utilisation en sélection. Pour toutes ces raisons, des progrès variétaux seront réalisés. Ils mettront à la disposition des paysans un plus grand choix en cultivars proches des leurs, mais mieux adaptés à une agriculture plus intensive et commercialisée.

Le programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad a voulu apporter une contribution à ce mouvement, l'exploitation en sélection des sorghos guinea a été sa priorité. Au terme du programme actuel, des écotypes locaux ont été mis en valeur et des créations variétales ont été obtenues. Leur description fait l'objet de fiches techniques disponibles pour les vulgarisateurs. Le meilleur de ce matériel est évalué en milieu paysan où il suscite un intérêt certain. D'autres génotypes sont en cours de sélection qui permettent d'assurer une poursuite des activités.

## Références bibliographiques

BRETAUDEAU A., TRAORE B.M., 1989. Augmentation de la variabilité génétique des sorghos locaux Ouest-africains par traitement aux rayonnements gamma du cobalt 60. *Rev. Rès. Amélior. Prod. Agr. Milieu Aride* 1 : 181-186

CHANTEREAU J., 1983. Sélection d'hybrides de sorgho pour le Centre-nord et le nord du Sénégal. *L' Agronomie Tropicale* 38 (4) : 295-302.

CHANTEREAU J., KONDOMBO C., 1994. Estimation du taux d'allogamie chez les sorghos de la race Guinea. *In Progress in food grain research and production in semi-arid Africa. Safgrad Inter-Network Conference, Niamey (Niger), 03-07 avril 1991. Menyonga J.M. (ed.), Taye Bezuneh (ed.), Yayock J.Y. (ed.), Soumana I. (ed.). Ouagadougou, Safgrad, 1994 : 309-313.*

CHANTEREAU J., DEU M., HAMON P., OLLITRAULT P., 1997. Organisation génétique des sorghos cultivés : une structuration panafricaine de la diversité. *In proceeding de la rencontre internationale sur la gestion des ressources génétiques des plantes en Afrique des savanes. Bamako (Mali), 24-28 février 1997, p. 241-247.*

CHANTEREAU J., AG HAMADA M., BRETAUDEAU A., TEMBELI C.O., 1998. Etude de nouvelles variétés de sorgho en milieu paysan de la zone cotonnière CMDT au Mali (1995 - 1996). *In Actes de l'atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho ICRISAT/CIRAD. Bamako (Mali), 17-20 mars 1997. Montpellier, Cirad-ca.*

DEGREMONT I., 1992. Evaluation de la diversité génétique et du comportement en croisement des sorghos (*Sorghum bicolor* L. Moench) de race guinea au moyen de marqueurs enzymatiques et morphophysiologiques. Thèse de Docteur en Sciences, université Paris XI, Orsay, France, 191 p.

DEU M., GONZALES-DE-LEON D., GLASZMAN J.-C., DEGREMONT I., CHANTEREAU J., LANAUD C., HAMON P., 1994. RFLP diversity in cultivated sorghum in relation to racial differentiation. *Theor. Appl. Genet.* 88 : 838-844.

DUFOUR P., 1996. Cartographie moléculaire du génome du sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) : application en sélection variétale ; cartographie comparée chez les andropogonées. Thèse de Docteur en Sciences, université Paris XI, Orsay, France, 106 p.

FLIEDEL G. 1995. Appraisal of sorghum quality for making tô. *Agriculture et développement, spécial issue - Décembre 1995 : 34-42.*

OLLITRAULT P., NOYER J.-L., CHANTEREAU J., GLASMANN J.-C., 1997. Structure génétique et dynamique des variétés traditionnelles de sorgho au Burkina Faso. *In proceeding de la rencontre internationale sur la gestion des ressources génétiques des plantes en Afrique des savanes. Bamako (Mali), 24-28 février 1997, p. 231-240.*

SCHEURING J.F., NIANGADO O., 1989. Reflections on sorghum breeding in Africa. *In* Cereals of the semi-arid Tropics. Proceeding of a regional seminar. Garoua (Cameroun), 12-16 septembre 1989. Ifs Edit., Stockholm (Suède) p. 185-188.

TOURE A., 1992. Heterosis, combining ability and breeding potential studies for grain yield and yield component in guinea sorghums - *Sorghum bicolor* (L) Moench. Ph D. Dissertation, Texas A&M University.

TOURE A.B., SCHEURING J.F., 1982. Présence de gènes mainteneurs de l'androstérilité cytoplasmique parmi les variétés locales de sorgho au Mali. *l'Agronomie Tropicale* 37 (4) : 362-365.

VAKSMANN M., TRAORE S., NIANGADO O., 1994. Zonage agroclimatique des potentialités des sorghos africains. *In* proceeding de l'Atelier de formation sur les variétés locales de sorgho. Samanko (Mali), 10-14 octobre 1994. Programme conjoint sur le sorgho, Icrisat-Cirad (Mali), p. 88-98.

VAKSMANN M., CHANTEREAU J., BAHMANI I., AG HAMADA M., CHARTIER M., BONHOMME R., 1998. Influence of night temperature on photoperiod response of a west african guinea sorghum landrace. *In* Actes de l'atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho Icrisat/Cirad. Bamako, Mali, 17-20 mars 1997. Montpellier, Cirad-ca.

YAGOUA N.D., 1994. Caractérisation du sorgho pluvial (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) de la zone soudanienne du Tchad. *In* Actes de l'Atelier de formation sur les variétés locales de sorgho. Samanko (Mali), 10-14 octobre 1994. Programme conjoint-sur-le sorgho Icrisat-Cirad, Mali, p. 44-59.

ZONGO J.D., 1991. Ressources génétiques des sorghos (*Sorghum bicolor* L. Moench) du Burkina Faso : évaluation agromorphologique et génétique. Thèse de docteur ès sciences, sciences naturelles, université d'Abidjan, Côte d'Ivoire, 219 p.



Session II

**Entomologie**



# Les insectes nuisibles du sorgho en Afrique de l'Ouest

Y.O. DOUMBIA

Ier-Crra de Sotuba, BP 438, Bamako, Mali

**Résumé** — En Afrique de l'Ouest et du Centre, la culture du sorgho est affectée par plusieurs espèces d'insectes nuisibles appartenant à divers ordres. La mouche des pousses *Atherigona soccata* (Rondani), le foreur de tige *Busseola fusca* (Fuller), la cécidomyie *Stenodiplosis* (= *Contarinia*) *sorghicola* (Coquillett) et la punaise des panicules, *Eurystylus oldi* Poppius y sont considérés comme étant les ravageurs les plus importants. En plus de l'inventaire, l'auteur donne des informations sur la distribution, la bioécologie et les dégâts des principales espèces. Les différentes méthodes de lutte applicables sont abordées. Les recherches doivent se poursuivre pour apporter des solutions aux problèmes bioécologiques encore non élucidés et nécessaires dans l'application de la lutte intégrée contre les principaux ravageurs.

**Abstract** — *Sorghum insect pests in West Africa*. In West and Central Africa, the sorghum crop is subject to damage by several insect pest species belonging to various orders. The shoot fly *Atherigona soccata* (Rondani), the stem borer *Busseola fusca* (Fuller), the sorghum midge *Stenodiplosis* (= *Contarinia*) *sorghicola* (Coquillett) and the head bug, *Eurystylus oldi* Poppius are considered as the main pests in the region. Further than the mere list of pests, the author provides for the major species, information on distribution, bioecology and damage. The various available control methods are addressed. Research effort must be continued to bringing necessary solutions to unsolved bioecological problems, in view of the implementation of the integrated management of the major pests.

Le sorgho *Sorghum bicolor* (L.) Moench est l'une des principales cultures vivrières dans plusieurs pays de l'Afrique situés au sud du Sahara. Cependant, les rendements de cette céréale observés en Afrique de l'Ouest et du Centre figurent parmi les plus faibles au plan mondial.

Au Mali, ils dépassent rarement 500 kg/ha en milieu paysan. Ces faibles rendements sont liés non seulement à la pauvreté des sols, mais aussi à l'action des ennemis naturels dont les insectes.

Plus d'une centaine d'espèces d'insectes ravageurs du sorgho ont été recensés (Risbec, 1950 ; Bowden,

1956 et 1965 ; Appert, 1957). A partir de 1980, les organisations de recherche de la sous-région (structures nationales, réseaux et institutions internationales) ont beaucoup œuvré dans la recherche de variétés productives et adaptées.

Plusieurs notes actualisées ou originales ont été publiées sur la taxonomie, la bioécologie et les moyens de lutte (Bonzi *et al.*, 1984 ; Doumbia et Gahukar, 1986 ; Doumbia et Bonzi, 1989 ; Nwanze, 1985 ; Bonzi et Doumbia, 1985 ; Gahukar, 1985 ; Doumbia, 1992a et 1992b ; Ratnadass *et al.*, 1994).

Parmi les ravageurs du sorgho, les foreurs des tiges (lépidoptères), les insectes des panicules (cécidomyie et punaises) sont les plus importants.

## Principaux insectes ravageurs du sorgho

Parmi la centaine d'espèces d'insectes nuisibles recensés sur le sorgho en Afrique de l'Ouest et du Centre (Risbec, 1950 ; Bowden, 1956 ; Appert, 1957 ; Nonveiller, 1969 et 1984), les résultats des travaux effectués ces quinze dernières années (Bonzi *et al.*, 1984 ; Doumbia, 1988 ; Nwanze, 1988 ; Ratnadass *et al.*, 1992 et 1995) indiquent que les insectes qui attaquent le sorgho peuvent être classés en trois groupes, à savoir :

- ceux qui occasionnent les dégâts sur les plantules ;
- ceux qui provoquent les dégâts en cours de végétation par la destruction du feuillage ou de l'intérieur de la tige ;
- ceux qui provoquent les dégâts sur la panicule par l'avortement des épillets, la destruction du grain en formation et la détérioration de la qualité des grains.

Cette classification est conforme à la classification proposée par Brenière (1970).

### Insectes des plantules

Ce groupe qui dévore les jeunes tiges de sorgho au niveau de la zone de croissance est constitué de diptères des genres *Atherigona* et *Diopsis* (Doumbia et Bonzi, 1989). Plusieurs espèces ont été recensées mais la plus importante est *Atherigona soccata* (Rondani). Cette espèce, étudiée depuis 1924 en Asie, puis en Afrique, est bien connue.

Cinquante trois espèces d'*Atherigona* ont été signalées au Nigeria (York, 1970), 23 au Burkina (Bonzi et Gahukar, 1983), 7 au Sénégal (Gahukar, 1985) et 22 au Mali (Doumbia et Gahukar, 1986). La dynamique des populations est bien connue dans les pays où le problème est étudié. Cet insecte ne passe pas la saison sèche sous une forme diapausante. Des moyens de lutte adaptés sont disponibles.

Les moyens de lutte les plus économiques pour les paysans sont la pratique de semis hâtifs et groupés (en évitant les resemis) et l'utilisation de variétés résistantes. Le traitement des semences à base de carbofuran a donné de bons résultats.

### Foreurs des tiges

Ce groupe est constitué essentiellement de Lépidoptères, Pyralidae et Noctuidae (tableau I). Les dégâts de ces foreurs sont de deux sortes. Lorsque l'infestation est précoce, la croissance de la tige est interrompue par la mort du cœur, tandis qu'une attaque tardive au niveau de la hampe florale peut entraîner la casse ou le dessèchement de la panicule.

Les principales espèces sont *Busseola fusca* (Fuller), *Sesamia* spp., notamment *S. calamistis* Hampson. *Busseola fusca* est l'espèce la plus abondante au Nigeria. Elle passe la saison sèche à l'état de diapause larvaire. A Samaru, deux à trois générations peuvent se succéder d'août à octobre (Harris, 1962). Au Burkina, la présence de l'espèce est limitée dans les zones sud (sous la latitude 12° N) dont la pluviométrie annuelle est supérieure à 900 mm (Nwanze, 1988) et confirmée par Dakouo et Lankoande (1992).

Selon Nwanze (1988), *S. calamistis* et *Eldana saccharina* paraissent se limiter à la zone au-dessous de la latitude 12° N au Burkina Faso et au Nigeria. Au nord du Mali, l'espèce *Sesamia poephaga* Tams et Bowden (identifiée à tort, dans un premier temps, comme *S. penniseti* Tams et Bowden) (Ratnadass et al., 1992) est présente sur le sorgho de décrue dans la zone des lacs.

**Tableau I.** Liste des insectes ravageurs rencontrés communément sur sorgho en Afrique de l'Ouest.

Stades/Organes attaqués	Espèces
Semences	Fourmis diverses
Plantules	Fourmis
Jeunes Plants	<i>Atherigona soccata</i>
Feuilles	<i>Laphygma exempta</i> <i>Laphygma exigua</i> <i>Mythimna loreyi</i> <i>Amsacta moloneyi</i> <i>Rhopalosiphum maidis</i> <i>Poophilus costalis</i> Sautériaux
Tiges	<i>Busseola fusca</i> <i>Coniesta</i> (= <i>Acigona</i> ) <i>ignefusalis</i> <i>Eldana saccharina</i> <i>Sesamia</i> spp. <i>Chilo diffusilineus</i>
Panicules	<i>Helicoverpa</i> (= <i>Heliothis</i> ) <i>armigera</i> <i>Eublemma gayneri</i> <i>Pyroderces</i> sp. <i>Sitotroga cerealella</i>  <i>Idgia terminata</i>  <i>Psalydolytta</i> spp. <i>Mylabris</i> spp. <i>Cylindrothorax</i> spp. <i>Decapotama</i> spp.  <i>Dysdercus voelkeri</i> <i>Spilosthetus</i> sp. <i>Calidea paraethiopica</i>
Grains stockés	<i>Sitophilus</i> spp. <i>Rhyzoperia dominica</i> <i>Tribolium</i> spp. <i>Sitotroga cerealella</i> <i>Corcyra cephalonica</i> <i>Plodia interpunctella</i>

Source : Bonzi et al., (1984).

Quelques études relatives aux pertes de rendement dues aux foreurs de tiges ont été menées au Burkina Faso où des pertes de 24 % ont été constatées en station (Dakouo et Lankoande, 1992) et 5 % en milieu paysan (Nwanze, 1988).

Diverses méthodes de lutte jugées efficaces contre les foreurs des tiges et principalement *B. fusca* ont été mises au point (Harris et Nwanze, 1992). Au Nigeria,



l'utilisation des insecticides pour contrôler les jeunes chenilles avant leur pénétration dans la tige a été envisagée. Comme méthode culturale, le brûlage partiel des tiges après la récolte pour tuer les larves diapausantes a été développé au Nigeria (Adesiyun et Ajayi, 1980).

Au Mali, des études pour évaluer l'efficacité d'extraits de Pourghère (*Jatropha curcas* L., Euphorbiaceae) pour lutter contre les foreurs de tige *S. calamistis* et *B. fusca* ont été faites au laboratoire (Mengual, 1994) et au champ (Ratnadass et al., 1997). Concernant l'utilisation des variétés résistantes et la lutte biologique, beaucoup reste à faire, cependant des recherches sur la mise au point des variétés résistantes à *B. fusca* par la technique d'infestation artificielle sont à l'étude au centre Icrisat-Cirad de Samanko.

## Insectes nuisibles des panicules

Ce groupe est constitué de diptères, lépidoptères et hétéroptères. Parmi les nombreuses espèces d'insectes ravageurs qui affectent les panicules de sorgho, seuls quelques-unes occasionnent des dégâts importants au sorgho cultivé en Afrique de l'Ouest, à savoir la cécidomyie *Stenodiplosis* (= *Contarinia*) *sorghicola* (Coquillett) et un complexe de punaises mirides, en particulier du genre *Eurystylus* dans les pays du Sahel et au Nigeria.

Des chenilles appartenant à plusieurs familles sont considérées comme des ravageurs importants de la panicule du sorgho au Cameroun (Nonveiller, 1969 et 1984). Toutes les autres espèces évoluant sur les panicules sont considérées comme des ravageurs occasionnels ou d'importance secondaire.

## Cécidomyie du sorgho

L'importance des dégâts varie suivant les zones agro-climatiques. Au Nigeria, les pertes dans le Nord sont estimées à 91 000 tonnes (Harris, 1961). Au Sénégal, Coutin (1970) estimait les pertes en grain entre 75 et 90 %. Au Burkina Faso, des pertes allant de 18 à 100 % ont été observées (Nwanze, 1988). Au Mali, bien que les pertes n'aient pas été évaluées, des dégâts allant de 10 à 50 % sur les épillets ont été notés en champs paysans dans certaines localités (Bonzi et Doumbia, 1985).

Concernant la bioécologie et les moyens de lutte, une synthèse réalisée par Bonzi et al., (1984) et réactualisée par Bonzi (1992), résume les travaux publiés par différents auteurs. Les moyens de lutte applicables par les paysans portent sur les pratiques culturales, telles que la destruction des panicules infestées, l'utilisation de semences saines et de variétés de même cycle et la pratique de semis groupés. Des variétés

résistantes existent au Mali et au Burkina (Bonzi et Doumbia, 1985 ; Bonzi, 1992) et des efforts sont en cours pour la recherche de nouvelles sources de résistance.

## Punaises des panicules (Hétéroptères)

Les punaises des panicules de sorgho dont l'incidence économique était négligeable auparavant (Risbec, 1950 ; Appert, 1957), sont aujourd'hui très nuisibles au sorgho en Afrique de l'Ouest (Doumbia et Bonzi, 1985 ; Gahukar et al., 1989 ; Steck et al., 1989).

Les dégâts sur les grains sont dus aux piqûres d'alimentation et d'oviposition. Ces dégâts ont été décrits au Mali par Doumbia (1992b) puis Ratnadass et al. (1994 et 1995). Les premières notes sur la bioécologie et les dégâts de la punaise du genre *Eurystylus* ont été publiées par MacFarlane (1989) au Nigeria, Steck et al. 1989) au Niger, Sharma (1985) au Mali et au Burkina Faso, Doumbia (1992a) au Mali. Récemment, Ratnadass et al. (1995) ont publié une synthèse des résultats de recherches sur la bioécologie des punaises effectuées de 1989 à 1993 au Mali, au Nigeria et au Burkina Faso par l'Icrisat-Cirad, l'Institut d'économie rurale (Ier) et l'Intsormil.

Le cycle de développement a été étudié à Samanko (Mali) et à Bagauda (Nigeria) (Ratnadass et al., 1995). A Samanko, la durée de l'incubation était de 4 à 6 jours, la durée du stade nymphal 6 à 11 jours ; 5 stades larvaires ont été observés.

La dynamique des populations des larves et adultes d'*Eurystylus* sp. a été étudiée de 1989 à 1990 à Sotuba (Doumbia et Teetes, 1994). Les premiers adultes apparaissent dans la deuxième quinzaine du mois de septembre. Deux pics d'abondance sont observés. Le premier se manifeste en fin septembre et le second en fin octobre. Ces périodes coïncident avec les stades grains laitieux et maturation.

D'autres résultats d'étude de la dynamique des populations ont été obtenus ailleurs en Afrique de l'Ouest. L'évaluation de plusieurs génotypes de sorgho pour la résistance à *Eurystylus* sp. à Sotuba (Sharma et al., 1992 et 1994 ; Doumbia et al., 1995) et Kamboinsé (Burkina Faso), a montré que les variétés Csm 388, Is 14332, Malisor 84-7, Sakoïka, S 29 et la variété locale Kamboinsé étaient relativement résistantes à *Eurystylus* sp. (Sharma et al., 1994).

Les études antérieures ont montré la stabilité et le bon niveau de résistance de la variété Malisor 84-7. Cette variété est actuellement utilisée comme témoin résistant et source de résistance dans les programmes d'entomologie et de sélection du sorgho en Afrique de l'Ouest. Des méthodologies de criblage du sorgho pour sa résistance à *Eurystylus* sp. ont été mises au point (Sharma et al., 1992 ; Doumbia et al., 1995).

Beaucoup d'informations manquent sur les aspects lutte biologique, culturale. Cependant des recherches sont actuellement en cours pour élucider certains aspects de la bioécologie des punaises des panicules qui constituent une priorité de recherche en Afrique de l'Ouest (tableau II).

## Conclusion

La culture du sorgho est affectée par un nombre important d'insectes nuisibles du semis à la maturation des grains.

Parmi les ravageurs recensés, le foreur de tiges (*B. fusca*), la cécidomyie du sorgho (*S. sorghicola*) et la punaise des panicules (*E. oldi*) présentent une contrainte majeure à la production durable du sorgho amélioré en Afrique de l'Ouest.

Même si beaucoup de résultats ont été obtenus dans les stations de recherche, les connaissances actuelles sur la bioécologie des ravageurs et les méthodes de lutte sont souvent insuffisantes pour mener la lutte intégrée contre les divers ravageurs.

Toutefois, l'évaluation des pertes en milieu réel ainsi que celle des techniques de lutte intégrée au sein des agroécosystèmes avec la participation des paysans est nécessaire pour résoudre le problème des ravageurs du sorgho.

## Références bibliographiques

ADESIYUN A.A., AJAYI O., 1980. Control of the sorghum stem borer *Busseola fusca* by partial burning of the stalks. *Tropical Pest Management* 26 : 113-117.

ANONYME, 1985. Sorghum research in West Africa. *in* Proceedings of the second West African regional sorghum network workshop, 21-24 octobre 1985, Bamako, Mali. Ouagadougou, Burkina Faso, Safgrad/Icrisat.

APPERT J., 1957. Les parasites animaux des plantes cultivées au Sénégal et au Soudan français. Paris, France, gouvernement général de l'Afrique occidentale française. 272 p.

BONZI S.M., 1992. La cécidomyie du sorgho, importance économique, biologique et méthodes de lutte. *In* Actes du deuxième séminaire sur la lutte intégrée contre les ennemis des cultures vivrières dans le Sahel, 4-9 janvier 1990, Bamako, Mali (Institut du Sahel ed.). Bamako, Mali, Insah, p. 110-115.

BONZI S.M., DOUMBIA Y.O., 1985. Sorghum midge as a limiting factor in sorghum production in Burkina Faso and Mali. *In* Proceedings of the International Sorghum Entomology Workshop, 15-21 juillet 1984, Texas A & M University, College Station, Texas, Etats-Unis (LEUSCHNER K., TEETES G.L., eds). Patancheru, Inde, Icrisat, p. 257-264.

BONZI S.M., DOUMBIA Y.O., SELVARAJ C.J., KONATE A., 1984. Les problèmes phytosanitaires du sorgho dans le Sahel. *In* Compte rendu du séminaire international du projet de lutte intégrée contre les ennemis des principales cultures vivrières dans le Sahel, 6-13 décembre 1984, Niamey, Niger (Institut du Sahel éd.). Bamako, Mali, Insah, p. 114-124.

BONZI S.M., GAHUKAR R.T., 1983. Répartition de la population d'*Atherigona soccata* Rondani (Diptère, Muscidae) et des espèces alliées pendant la saison pluvieuse en Haute-Volta. *L'Agronomie Tropicale* 38 : 331-334.

BOWDEN J., 1956. New species of African stem-boring Agrotidae (Lepidoptera). *Bulletin of Entomological Research* 47 : 415-428.

BOWDEN J., 1965. Sorghum midge, *Contarinia sorghicola* (Coq.) and other causes of grain sorghum losses in Ghana. *Bulletin of Entomological Research* 56 : 169-189.

BRENIERE J., 1970. Recherches entomologiques effectuées en Afrique de l'Ouest francophone en matière de sorgho et de mil. *African Soils/Sols africains* 15 : 85-90.

COUTIN R., 1970. Biologie de la cécidomyie du sorgho (*Contarinia sorghicola* Coq.) et la lutte chimique. *Phytiatrie-phytopharmacie* 19 : 65-83.

Tableau II. Priorités en matière de recherche sur les ravageurs du sorgho en Afrique de l'Ouest.

Ravageurs	Bénin	Burkina	Cameroun	Côte d'Ivoire	Ghana	Mali	Niger	Sénégal
Foreurs	2,0	3,5	1,0	3,0	3,0	3,0	3,7	2,0
Cécidomyie	5,0	4,5	2,0	1,0	1,0	2,7	2,7	1,0
Punaise des panicules	4,0	4,5	2,0	4,0	2,0	1,0	3,7	1,5
Mouche des pousses	5,0	3,5		2,0	2,0	4,7	4,3	1,5

Note : 1 = haute priorité ; 5 = moins important.  
Source : anonyme (1985).



- DAKOULO D., LANKOANDE A., 1992. Les Lepidoptères foreurs de tige du sorgho : fluctuations saisonnières, importance économique et perspectives de lutte intégrée. In Actes du deuxième séminaire sur la lutte intégrée contre les ennemis des cultures vivrières dans le Sahel, 4-9 janvier 1990, Bamako, Mali (Institut du Sahel éd.). Bamako, Mali, Insah, p. 102-109.
- DOUMBIA Y.O., 1988. Les insectes nuisibles au sorgho au Mali. In Actes du séminaire sur le mil et le sorgho au Mali, 4-8 octobre 1988, Bamako, Mali. Bamako, Mali, Institut d'économie rurale, p. 261-264.
- DOUMBIA Y.O., 1992a. Connaissances actuelles sur la punaise du sorgho au Mali : *Eurystylus Odhiambo* (Hemiptera, Miridae). In Actes du deuxième séminaire sur la lutte intégrée contre les ennemis des cultures vivrières dans le Sahel, 4-9 janvier 1990, Bamako, Mali (Institut du Sahel éd.). Bamako, Mali, Insah, p. 127-132.
- DOUMBIA Y.O., 1992b. Les principales punaises nuisibles aux panicules du sorgho au Mali. Bamako, Mali, Réseau ouest et centre africain de recherche sur le sorgho. 20 p.
- DOUMBIA Y.O., BONZI S.M., 1985. Note sur les problèmes des insectes des panicules du sorgho au Mali. In Proceedings of the second West African regional sorghum network workshop, 21-24 octobre 1985, Bamako, Mali. Ouagadougou, Burkina Faso, Icrisat, p. 173-182.
- DOUMBIA Y.O., BONZI S.M., 1989. Inventaire et distribution des insectes du mil et du sorgho au Mali. L'Agronomie tropicale 44 : 185-195.
- DOUMBIA Y.O., CONARE K., TEETES G.L., 1995. Méthodologie simple d'estimation des dégâts et de criblage du sorgho pour la résistance à *Eurystylus marginatus* Odh. (Hemiptera; Miridae). In Actes de l'Atelier consultatif international sur les insectes nuisibles des panicules de sorgho et du mil, 4-7 octobre 1993, Centre sahélien de l'Icrisat, Niamey, Niger (NWANZE K.F., YOUM O., eds). Patancheru, Inde, Icrisat, p. 183-189.
- DOUMBIA Y.O., GAHUKAR R.T., 1986. *Atherigona soccata* Rondani et autres mouches nuisibles au sorgho au Mali. L'Agronomie Tropicale 41 : 170-172.
- DOUMBIA Y.O., TEETES G.L., 1994. Distribution, dégâts et dynamique des populations d'*Eurystylus marginatus* Odhiambo (Heteroptera, Miridae), ravageur du sorgho au Mali. In Progress in food research and production in semi-arid Africa : proceedings of the Semi-Arid Food Grain Research and Development (Safgrad) Inter-Network Conference, 7-14 mars 1991. Palais des Congrès, Niamey, Niger (MENYONGA J.M., BEZUNEH T., YAYOCK J.Y., SOUMANA I., eds). Ouagadougou, Burkina Faso, Safgrad, p. 321-331.
- GAHUKAR R.T., 1985. Some species of *Atherigona* (Diptera, Muscidae) reared from Gramineae in Senegal. Annals of Applied Biology 106 : 399-403.
- GAHUKAR R.T., DOUMBIA Y.O., BONZI S.M., 1989. *Eurystylus marginatus* Odh., a new pest of sorghum in the Sahel. Tropical Pest Management 35 : 212-213.
- HARRIS K.M., 1961. The sorghum midge, *Contarinia sorghicola* Coq. in Nigeria. Bulletin of Entomological Research 52 : 129-146.
- HARRIS K.M., 1962. Lepidopterous borers of cereals in Nigeria. Bulletin of Entomological Research 53 : 139-171.
- HARRIS K.M., NWANZE K.F., 1992. *Busseola fusca* (Fuller), the African Maize Stalk Borer: a Handbook of Information. Information Bulletin n° 33. Patancheru, Inde, Icrisat & Wallingford, UK, CAB International. 92 p.
- Mac FARLANE J.H., 1989. The hemipterous insects and spiders of sorghum in northern Nigeria. Insect Science and Application 10 : 277-284.
- MENGUAL L., 1994. L'insecticide pourghère : extraction de substances bioactives de l'huile de pourghère (*Jatropha curcas* L.) et bioessais sur *Zonocerus variegatus*, *Sesamia* et *Busseola fusca* pour la caractérisation d'un effet insecticide en zone sahélienne. Mémoire de fin d'études de l'Ecole supérieure d'agriculture d'Angers, France, Esaa. 66 p.
- NONVEILLER G., 1969. Note sur les chenilles des panicules de sorgho au Cameroun et la corrélation entre l'intensité de l'attaque et la compacité des panicules. L'Agronomie Tropicale 24 : 610-633.
- NONVEILLER G., 1984. Catalogue des insectes du Cameroun d'intérêt agricole. Mémoires XV. Beograd, Yougoslavie, Institut pour la protection des plantes. 210 p.
- NWANZE K.F., 1985. Sorghum insect pests in West Africa. In Proceedings of the International Sorghum Entomology Workshop, 15-21 juillet 1984, Texas A & M University, College Station, Texas, Etats-Unis (LEUSCHNER K., TEETES G.L., eds). Patancheru, Inde, Icrisat, p. 37-43.
- NWANZE K.F., 1988. Distribution and seasonal incidence of some major insect pests of sorghum in Burkina Faso. Insect Science and its Application 9 : 313-321.
- RATNADASS A., DOUMBIA Y.O., HAMADOUN A., 1992. *Neolimnus aegypticus* Matsumura (Hemiptera, Cicadellidae) et *Sesamia penniseti* Tams et Bowden (Lepidoptera, Noctuidae), deux nouveaux ravageurs du sorgho de décrue dans la zone des lacs au nord du Mali. L'Agronomie Tropicale 46 : 321-326.
- RATNADASS A., CISSE B., LUCE C., DIARRA D., THIERO C.A.T., 1993. Etudes récentes sur la résistance variétale du sorgho à trois de ses



principaux ravageurs en Afrique de l'Ouest. In Réunion de coordination des recherches phytosanitaires pour la sous-région Afrique de l'Ouest, 26-28 janvier 1993, Cotonou, Bénin (VAISSAYRE M., ed). Montpellier, France, Cirad, p. 127-141.

RATNADASS A., CISSE B., MALLE. K., 1994. Notes on the biology and immature stages of West African sorghum head bugs *Eurystylus immaculatus* and *Creontiades pallidus* (Heteroptera : Miridae). Bulletin of Entomological Research 84 : 383-388.

RATNADASS A., DOUMBIA Y.O., AJAYI O., 1995. Bioecology of sorghum head bug, *Eurystylus immaculatus*, and crop losses in West Africa. In Actes de l'Atelier consultatif international sur les insectes nuisibles des panicules de sorgho et de mil, 4-7 octobre 1993, Centre Sahélien de l'Icrisat, Niamey, Niger (NWANZE, K.F., YOUM O., eds). Patancheru, Inde, Icrisat, p. 91-102

RATNADASS A., CISSE B., DIARRA D., THIERO C.A.T., 1997. Utilisation des substances dérivées de plantes pour la protection insecticide du sorgho contre les foreurs des tiges et les ravageurs des panicules. Rapport d'essais (Samanko, Mali, hivernages 1995 et 1996). Bamako, Mali, Programme conjoint sorgho Icrisat-Cirad, 6 p. (document interne).

RISBEC J., 1950. La faune entomologique des cultures au Sénégal et au Soudan français. Dakar, Sénégal,

Gouvernement général de l'Afrique occidentale française, 639 p.

SHARMA H.C., 1985. Oviposition behaviour and host plant resistance to sorghum headbug, *Eurystylus marginatus* Odh. Report of cooperative work carried out at Srcvo, Sotuba, Mali, October 1985. Patancheru, Inde, Icrisat. 53 p. (document interne).

SHARMA H.C., DOUMBIA Y. O., DIARISSO N.Y., 1992. A headcage technique to screen sorghum for resistance to mirid head bug, *Eurystylus immaculatus* Odh. in West Africa. Insect Science and its Application 13 : 417-427.

SHARMA H.C., DOUMBIA Y.O., HAIDARA M., SCHEURING J.F., RAMAIAH K.V., BENINATI N.F., 1994. Sources and mechanisms of resistance to sorghum head bug, *Eurystylus immaculatus* Odh. in West Africa. Insect Science and its Application 15 : 39-48.

STECK G.J., TEETES G.L., MAIGA S.D., 1989. Species composition and injury to sorghum by panicle feeding bugs in Niger, Insect Science and its application 10 : 199-217.

YORK G.T., 1970. Recent work on cereal pests. Récents travaux sur les insectes des céréales. African Soils/Sols Africains 15 : 493-496.

# Sorghum insect pest distribution and losses in West and Central Africa

O. AJAYI<sup>1</sup>, A. RATNADASS<sup>2</sup>

1. Icrisat, PMB 3491, Kano, Nigeria

2. Icrisat-Cirad, BP 320, Bamako, Mali

**Abstract** — Collaborative research between Icrisat, Cirad and the national agricultural research systems of West and Central Africa in 1988-1996 have added to our existing knowledge of sorghum insect pests. Spittle bugs and head bugs have been recognized as important pests both in research stations and farmers' fields. Spittle bugs cause damage directly through feeding and indirectly by transmitting the yellow leaf blotch disease of sorghum. *Eurystylus oldi* Poppius attacks both local and improved sorghum cultivars. It is more common on improved cultivars and in the more humid zones. The pest causes direct damage by feeding on and ovipositing inside developing grains and indirectly. It is now considered as the major constraint to the adoption of improved sorghum cultivars in the region. Surveys showed that post rainy season sorghum is attacked by a leaf hopper and by stem borers. Stem borers are endemic and often cause severe damage in local farms. However, there have been no successful attempts to determine the yield loss attributable to each stem borer species in farmers' field. During village-level surveys conducted in 1989-1996, the most important storage insect pest of sorghum was the lesser grain borer, however, weight loss due to insects was less than 1% in local vitreous-grained sorghums stored as bundles of heads in mud granaries.

**Résumé** — Insectes ravageurs du sorgho en Afrique de l'Ouest et du Centre : répartition et pertes occasionnées. Les recherches Icrisat-Cirad menées en collaboration avec les systèmes nationaux de recherche d'Afrique de l'Ouest et du Centre de 1988 à 1996 ont mis en évidence l'importance des cercopides et des punaises des panicules sur les stations de recherche et en champs paysans. Les cercopides causent des dégâts directs par leur alimentation, et indirects par la transmission de la maladie des taches chlorotiques du sorgho. La punaise *Eurystylus oldi* Poppius attaque à la fois les variétés de sorgho locales et améliorées. Cette espèce est plus fréquente sur les variétés améliorées et dans les zones les plus humides, elle cause des dégâts directs par ses piqûres d'alimentation et d'oviposition dans les grains, mais aussi indirects. Cette punaise est à présent considérée comme la principale contrainte à l'adoption dans la région de variétés améliorées. Des prospections ont montré que le sorgho de contre-saison était attaqué par une cicadelle et des foreurs de tiges. Les foreurs sont endémiques et l'on considère qu'ils causent des

dégâts importants en champs paysans. Les tentatives visant à quantifier la contribution de chaque espèce de foreur à la perte en rendement en champs paysans sont restées vaines. Lors d'études menées de 1989 à 1996 dans les villages, le plus important insecte ravageur des stocks de sorgho a été le petit capucin des grains, toutefois, les pertes pondérales dues aux insectes ont été faibles (moins de 1 %) dans le cas des variétés locales à grains vitreux, stockées en bottes de panicules dans des greniers en terre.

Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) is the most important food crop in the savanna areas of West and Central Africa. The grain is used predominantly for food and beverages while the stalks are fed to animals, or used for building, fencing, or firewood.

Insect damage, both in the field and in storage, constitutes a serious limiting factor to increased production of sorghum in West and Central Africa. Various authors have reviewed the incidence, distribution and economic importance of sorghum insect pests in the region (Nwanze, 1985; Ajayi, 1989; Ratnadass and Ajayi, 1995). This paper summarizes aspects of the distribution and yield losses caused by some insect pests of sorghum based on work done between 1988 and 1996 by the Icrisat and Icrisat-Cirad entomology teams based respectively at Kano, Nigeria and Bamako, Mali in collaboration with their counterparts in the national agricultural research systems in the region.

## Insect pests of sorghum

The most important insect pests of sorghum in West and Central Africa are shootfly, spittle bugs, stem borers, grain midge, head bugs and storage pests like the lesser grain borer.

## Shootfly

Shootfly, *Atherigona soccata* Rondani (Diptera: Muscidae), occurs across the West and Central Africa region. However, it is usually more important where the sowing of sorghum is late (table I) or staggered. Farmers in the region normally sow sorghum early in the season and so escape shootfly damage. Sometimes, however, poorly distributed rainfall encourages repeated sowings which result in high shootfly infestation. Shootfly could also be important especially in the high rainfall zones where attempts are made to sow early maturing cultivars late to avoid high grain mold damage.

## Spittle bugs

Several species of spittle bugs attack cultivated cereal crops, especially sorghum, millet, maize, rice and sugar cane throughout the West and Central Africa region. Those commonly found on sorghum include *Poophilus costalis* (Walker) (Homoptera: Aphrophoridae), and various species of *Locris*

(Homoptera: Cercopidae) particularly *L. rubens* Erichson and *L. erythromela* Walker. *Poophilus costalis* and *L. erythromela* prefer the wetter zones of the savanna whereas *L. rubens* is more common in the drier parts (Icrisat, 1993).

The life cycle of *L. rubens* on sorghum has been studied (Ajayi, 1995a). It lays eggs in the epidermis of the leaf sheath; there are five nymphal instars and development from egg to adult takes about 33 days. Both *L. rubens* and *P. costalis* feed on all growth stages and parts of sorghum, causing leaf scorching and death in severe infestations (Icrisat, 1991). In addition, it was established that *L. rubens* transmits the bacteria (*Xanthomonas* sp.) which cause the yellow leaf blotch disease of sorghum (Akpa *et al.*, 1995). Under artificial infestation in field cages, the severity of damage increased with an increase in spittle bug population (tables II and III); infestation by 15 pairs of adult *L. rubens* over a period of five weeks reduced grain yield by 35%. Chemical protection using Carbofuran, Lambda-cyhalothrin or Dimethoate was effective for controlling spittle bugs, resulting in yield gains of 24-35% (table IV).

Table I. Effect of carbofuran and planting date on shoot fly damage on sorghum, Bagauda, Nigeria, 1992<sup>(1)</sup>.

Date of planting	Shoot fly deadheart (%)		Grain yield (t/ha)	
	Untreated	Carbofuran	Untreated	Carbofuran
3 June	0.2 (1.3) <sup>(2)</sup>	0 (0)	2.44	3.07
1 July	1.6 (5.8)	0.2 (1.4)	4.83	5.19
15 July	0.8 (2.6)	0.8 (4.4)	3.79	4.02
22 July	16.5 (23.8)	0.4 (2.7)	2.30	2.70
5 August	83.5 (69.4)	2.1 (8.2)	0.63	1.44
Se ( $\pm$ 4.31)		( $\pm$ 1.21)	$\pm$ 0.17	$\pm$ 0.14
Cv (%)	(41.9)	(72.7)	12.30	8.40

1. Randomized complete block design with 4 replications; plot size = 15 m<sup>2</sup>.

Table II. Effect of artificial infestation with *Locris rubens* on sorghum (Icsv 247) at Bagauda, 1992<sup>(1)</sup>.

Number of spittle bugs per plant (pairs)	Infestation for 2 wk			Infestation for 5 wk.		
	% of leaf area with yellow blotch	grain wt. per plant (g)	100 grain wt. (g)	Grain wt. per plant (g)	Reduction in grain wt. ( %)	100 grain wt. (g)
0	0	14.9	4.0	6.7	0	2.6
2	20.0	17.3	3.2	6.1	9	2.8
5	33.8	17.5	3.5	4.8	27	2.3
10	84.5	13.0	3.4	4.3	36	3.3
15	85.5	16.7	3.3	4.3	35	3.4
Mean	44.8	15.9	3.5	5.2		2.9
SE	$\pm$ 3.74	$\pm$ 3.94	$\pm$ 0.30	$\pm$ 1.42		$\pm$ 0.44
df	9	9	9	11		11

1. Adult *L. rubens* were confined onto 8 wk old plants for 2 or 5 wk.



**Table III.** Effect of *Locris rubens* on plant height and yield parameters in sorghum (Icscv 400) at Bagauda, Nigeria, 1994<sup>(1)</sup>.

Number of spittle bug adults caged per plant (pairs)	Plant height (cm)	Weight of panicle (g)	Grain yield per panicle (g)
0	169.8 (0) <sup>(2)</sup>	23.4 (0) <sup>(2)</sup>	17.5 (0) <sup>(2)</sup>
1	155.4 (9)	20.4 (13)	16.5 (6)
2	151.0 (11)	19.2 (18)	14.6 (17)
3	140.2 (18)	16.2 (31)	12.8 (27)
5	142.1 (16)	15.2 (35)	11.2 (36)
Mean	151.6	18.9	14.5
SE	± 3.96	± 4.21	± 3.59
df	35	12	12

(1) Adult *L. rubens* collected from the field were caged on 4 wk old plants for 22 d using muslin cloth cages.

(2) Numbers in parentheses are % reductions for the given parameters.

## Stem borers

Sorghum is attacked by several stem borers in the region. On rain-fed sorghum, the following species have been reported: Noctuidae - *Busseola fusca* (Fuller), *Sesamia calamistis* Hampson, *S. poephaga* Tams & Bowden, and *S. penniseti* Tams & Bowden; Pyralidae - *Eldana saccharina* Walker, *Coniesta ignefusalis* (Hampson), and *Chilo diffusilineus* J. de Joannis.

*Busseola fusca*, is the dominant species in the wetter zones below latitude 11° 30' N (higher than 900 mm annual rainfall) (Nwanze, 1988) and its abundance decreases further north in relation to the other stem borer species (Nwanze, 1985). *Caniesta ignefusalis* is primarily a pest of pearl millet, *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br., but is a minor pest of sorghum in a sorghum/millet intercrop (Ajayi, 1989). *Chilo diffusilineus* is of little importance and has been reported from Burkina Faso (Dakouo, 1988). In the southern Guinea savanna, *S. calamistis* predominates and *E. saccharina* assumes a certain importance (Abu, 1986a, 1986b).

Attempts have been made to quantify yield losses caused by sorghum stem borers in the region. A yield loss of 24% was recorded in on-station trials involving the use of insecticides in Burkina Faso in 1988 (Dakouo and Lankoande, 1992). In Nigeria, spraying sorghum in farmers' fields in 1990 increased grain yield twofold, although this increase was partly due to the control of spittle bugs *L. rubens* and *P. costalis* (Icristat, 1991); in that year, 63% of the stem borer larvae and pupae collected in the Sudan savanna of Nigeria were *B. fusca*, 30% were *S. calamistis*, 1% was *C. ignefusalis* and 6% were unidentified.

In 1991 and 1992, chemical control in farmers' fields in northern Nigeria improved grain yields by 63% and 21% respectively; the stem borers involved were *B. fusca*, *C. ignefusalis*, *S. calamistis* and *E. saccharina* (Icristat, 1992). Stem borer control in the southern Guinea savanna, where *Sesamia* predominates, improved yield by 16-19% (Abu, 1986a). Similar stem borer control in the northern Guinea savanna, where *B. fusca* predominates, improved yield by 49% (Ajayi, 1987). However, yield loss determinations have not been conducted separately for each stem borer species. Thin-stemmed varieties exhibit more

**Table IV.** Effect of insecticide application on spittle bug (*Poophilus costalis*, and *Locris rubens*) damage on sorghum, Bagauda, Nigeria, rainy season, 1991<sup>(1)</sup>.

Insecticide	Plants with chlorotic blotches (%) <sup>(2)</sup>	Grain yield (t/ha)
Carbofuran (Furadan <sup>(R)</sup> ) 3G @ 1.0 kg a.i./ ha)	9.5 (17.6) <sup>(3)</sup>	2.34
Lambda-cyhalothrin (Karate <sup>(R)</sup> ) EC@ 0.015 kg a.i./ha)	15.6 (23.0)	2.12
Dimethoate (Rogor <sup>(R)</sup> ) EC @ 0.9 kg a.i./ha)	15.2 (22.8)	2.09
Non treated control	32.5 (34.7)	1.73
Se	(± 0.02)	± 0.204
Mean	18.2 (24.5)	2.07
Cv (%)	(16.5)	19.7

1. Randomized complete block design with 4 replications; plot size 15m<sup>2</sup>.

2. Counted per 2 central rows per plot.

3. Figures in parentheses are angular transformed values.

severe damage than thick-stemmed ones and it is assumed that stem borers will cause more yield reduction as more farmers adopt improved, thin-stemmed varieties (Ajayi, 1989).

Post rainy season sorghum is attacked by *S. calamistis*, *S. cretica* and *E. saccharina* in Cameroon, Chad, and Nigeria (Ajayi *et al.*, 1996a, and by *S. poephaga* in Mali<sup>(1)</sup> (Ratnadass *et al.*, 1992). Infestation and damage were quite high in farmers' fields but actual yield loss is yet to be determined. Versteeg (1995) reported that farmers who were involved in a diagnostic survey in the Canton de Madiagho in Chad in 1995 ranked stem borers 5th among the constraints to the production of post rainy season sorghum in the area with only birds, grasshoppers, shortage of water, and storage problems considered as being more important.

(1). Specimens collected in northern Mali by Ratnadass *et al.* (1992), first misidentified as *Sesamia penniseti* Tams & Bowden, were later reidentified as *S. poephaga*.

## Midge

The incidence of the sorghum midge, *Stenodiplosis* (= *Contarinia*) *sorghicola* (Coq.) is usually low in West and Central Africa, although infestation levels can be high in certain locations, especially where alternate wild host plants are available (Bowden,

1965). Surveys suggest that the intensity of midge attack is highest above latitude 9° N in Nigeria (Nwasike, 1995), and below latitude 13° N in Burkina Faso (Nwanze, 1988).

Midge infestation and yield loss are usually high when planting or flowering of sorghum is staggered. This occurs when rainfall is low or poorly distributed; farmers then have to sow the same field several times or intercrop both early and late maturing varieties in the same farm. Most farmers in the region do not recognize that the empty panicles of sorghum are caused by midge and are unaware of the midge itself (Nwasike, 1995). Some attribute the emptiness of the panicles to other causes such as pollen wash and poor soils. Midge incidence is therefore probably more frequent than is usually reported. Ratnadass and Ajayi (1995) have highlighted reported incidences of midge in Benin, Burkina Faso, Cameroon, Chad, Mali, Niger, Nigeria, Senegal and Togo. Nwanze (1988) reported areas in Burkina Faso where midge damage resulted in losses ranging from 75 to 100%.

## Head bugs

By far the greatest amount of new knowledge generated on sorghum insect pests in this region between 1988 and 1996 has been on head bugs. Ratnadass and Ajayi (1995) have summarized available informa-

**Table V.** Main genera and species of sorghum head bugs (Heteroptera: Miridae) reported from 10 countries of West and Central Africa.

Head bug	Benin <sup>(1)</sup>	Burkina Faso	Cameroon	Chad	Côte d'Ivoire	Mali	Niger	Nigeria	Senegal	Togo
<i>Eurystylus oldi</i>										
Poppius	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Campylomma</i> spp.		x				x	x	x	x	x
<i>Creontiades pallidus</i> Rambur		x				x	x	x	x	x
<i>Megacoelum apicale</i> Reuter		x				x	x		x	x
<i>Paramixia</i> sp.							x	x		
<i>Taylorilygus</i> sp.						x	x	x		
<i>Adelphocoris apicalis</i> Poppius						x		x		
<i>Tytthus parviceps</i> Reuter							x			
<i>Stenotus transva-alensis</i> Distant							x			

(1): x = Presence of insect reported on sorghum.

Sources: Nwanze (1985), Sharma (1985), Sharma (1986), Doubia and Bonzi (1989), McFarlane (1989), Steck *et al.* (1989) Ratnadass and Cissé (1990), Ratnadass (1991), Ratnadass (1992a), Ratnadass (1992b), Ajayi (1993), Ajayi (1995b),

**Table VI.** Incidence of *Eurystylus oldi* on sorghum in farmers' fields in northern Nigeria, 1993.

State	Bauchi	Borno	Kaduna	Kano	Plateau	Sokoto	Yobe	Mean (Total)
No of fields sampled	12	11	14	18	6	10	5	(76)
% of fields infested	67	91	64	67	50	90	100	74
Total no of panicles sampled	60	55	70	92	30	50	25	(382)
% of panicles infested	32	60	30	51	13	40	48	41
Mean no of head bugs per panicle	0.8	13	4	6	0.3	1	2	5
(Range)	(0-80)	(0-142)	(0-159)	(0-190)	(0-5)	(0-25)	(0-17)	(0-190)

**Table VII.** Incidence of *Eurystylus oldi* on sorghum in farmers' fields in 10 States in Nigeria, the Federal Capital Territory (FCT), and Niger October- November 1994.

	Nigeria											Overall Mean		
	Bauchi	Jigawa	Kaduna	Kano	Katsina	Kogi	Kwara	Niger	Plateau	Sokoto	FCT	Nigeria	Niger	Nigeria and Niger
Fields sampled	6	2	9	19	13	6	4	5	15	8	1	88	8	96
Fields infested (%)	83	50	100	89	100	50	75	100	47	88	100	81	100	82
Total panicles sampled	45	10	72	150	65	30	20	25	70	40	5	532	40	572
Panicles infested (%)	71	50	74	43	77	30	15	44	20	58	20	50	85	52
Mean head bugs per panicle	10	1.5	7.6	3.62	40	0.8	0.15	1.6	0.69	22	0.2	9.68	23.70	10.66

tion on these panicle pests up to 1993. Several species of panicle feeding bugs of the family miridae have been reported as pests of sorghum in West and Central Africa. The current list of the most common species in nine countries is provided in Table V.

The head bug complex is dominated by *Eurystylus oldi* Poppius which had been variously reported as *E. bellevoeyi* (Reuter) from Burkina Faso (Nwanze, 1985), *E. rufocunealis* Poppius from Nigeria (MacFarlane, 1989), *E. marginatus* Odhiambo from Niger (Steck *et al.*, 1989) and Mali (Doumbia and Bonzi, 1985; Gahukar *et al.*, 1989, Doumbia and Bonzi, 1989), *E. immaculatus* Odhiambo from Nigeria, Mali and Burkina Faso (Sharma, 1989), *E. risbeci* Schouteden from northern Cameroon (Descamps, 1954) and Burkina Faso (Nibouche, 1993). Stonedhal (1995) has confirmed that all these earlier reports refer to only one species, *E. oldi*, which has now been recorded as a pest of sorghum in Benin, Burkina Faso, Cameroon, Chad, Côte d'Ivoire, Mali, Niger, Nigeria, Senegal and Togo (Descamps, 1954; Doumbia and Bonzi, 1985; Nwanze, 1985; Doumbia and Bonzi, 1989; Gahukar *et al.*, 1989; MacFarlane, 1989; Sharma, 1989; Steck *et al.*, 1989; Ratnadass and Cissé, 1990; Ratnadass *et al.*, 1994; Ratnadass,

1991, 1992a, 1992b, 1993; Sharma *et al.*, 1992; Icrisat, 1994; Ratnadass and Ajayi, 1995; Ajayi, 1993, 1995b, Ajayi *et al.*, 1996b).

The first extensive survey of farmers' fields was made in 1993 and covered 73 locations in seven states in Nigeria (Icrisat, 1994, 1995a). *E. oldi* was found at two-thirds of the locations, and on just over half of the 390 panicles sampled. At 11 locations, every panicle in the sample was infested (table VI).

Farmers' fields in northern Benin, southeastern Niger, and northern Nigeria were surveyed in 1994 to determine the incidence and distribution of *E. oldi* (Ajayi, 1995; Icrisat, 1995a, 1995b). The head bug was observed in the following states in Nigeria: Bauchi, Jigawa, Kaduna, Kano, Katsina, Kwara, Niger, Plateau, Sokoto and the Federal Capital Territory of Abuja. In the Republic of Niger, *E. oldi* was seen in the provinces of Maradi and Tahoua and in Goubafari and Guéné in northern Benin. Of the 96 fields sampled, 82% were infested by *E. oldi*; 52% of the 572 panicles examined had a mean population of 11 bugs per panicle (table VII). Compact and semi-compact panicles were more frequently infested and had larger populations than loose ones.



**Table VIII.** Incidence of *Eurystylus oldi* on sorghum in farmers' fields in Cameroon and Chad, October, 1995.

Particulars	Cameroon	Chad
Fields sampled (#)	19	8
Fields infested (%)	88	100
Panicles sampled (#)	160	73
Panicles infested (%)	66	79
Mean head bugs/panicle	16	15
Range of head bugs/panicle	0-178	0-173

A further survey of farmers' fields was conducted in Cameroon and Chad in 1995 (Ajayi *et al.*, 1996b). *E. oldi* infested 92% of the 27 farms and 70% of the 233 panicles inspected, with a mean of 16 head bugs per panicle and a range of 0-78 (Table VIII). In Nigeria, it occurs in all the agroecological zones in which sorghum is grown between latitudes 7° 40' N and 13° 5' N. However, it is more problematic on improved cultivars with short glumes and soft grains and in the more humid savanna zones, particularly below latitude 11° N. Total yield loss (100%) occurred on Icsv 400 sown by outgrowers at Kudu, Nigeria (latitude 9° 3' N) in 1995.

Surveys in Mali and Burkina Faso between 1993 and 1996 also showed that *E. oldi* is the most important mirid head bug of sorghum in these countries, having been recorded at Nogolasso and Konobougou (Ratnadass, 1994a), Farako-Ba, Kouare, Zorgho, Kamboinse and Sona (Ratnadass, 1994b), Nogolasso and Longorola (Ratnadass and Cissé, 1995), Tiorobougou and N'Guenea (Ratnadass *et al.*, 1995), and Ngolobougou (Ratnadass, 1995).

Several species of *Campylomma* are also pests of sorghum in the region. *Campylomma angustior* Poppius and *C. subflava* Odhiambo were reported from Samaru by MacFarlane (1989), and *C. plantarum* from the same location by Deeming (1981). Ratnadass (unpublished data) indicated that *C. angustior* and *C. subflava* also occur on sorghum in Mali. Indeed, *Campylomma* spp. were sometimes more abundant than *E. oldi* on sorghum at Nogolasso (Rat-

nadass, 1994a). Other species, including *C. citronella* Odhiambo and *C. unicolor* have been reported as pests of cotton (Deeming, 1981; Nibouche, 1993). *Creontiades pallidus* Rambur was the most abundant head bug species at Bambey in 1992 (Ratnadass, 1992a) and at Nogolasso in 1995 (Ratnadass and Cissé, 1995). *Megacoelum apicale* Reuter was present at eight of the 14 locations surveyed in Mali between 1993 and 1995.

Head bug feeding and oviposition punctures on maturing sorghum grains result in severe quantitative and qualitative losses, particularly on improved compact panicked types (Dolumbia and Bonzi, 1985; Steck *et al.*, 1989; Ratnadass *et al.*, 1994; Sharma *et al.*, 1992; Sharma *et al.*, 1994; Ajayi, 1995b; Icrisat, 1995a). Head bug attack is also generally associated with greater grain mold incidence (Steck *et al.*, 1989; Sharma *et al.*, 1992). In Niger, a commonly grown indigenous sorghum variety, Mota Galmi, suffered 14% yield loss and 19% grain vitrosity reduction in field trials in which *E. oldi* density averaged 80 per panicle. Among 14 other sorghum varieties grown under natural conditions, vitrosity decreased by 20% on an average (Steck *et al.*, 1989). In Mali and Burkina Faso, head bug infestation caused a 50% reduction in seed size in S-34 (improved caudatum type) and additional 30% quantitative loss, in terms of a reduction of dehulling recovery rate. Its germination was reduced by 50%, and the proportion of low-density grains increased three fold (Ratnadass *et al.*, 1994). Although local non-tan guinea cultivars generally did not show a marked reduction for most quantity and quality loss parameters, they showed a noticeable decrease in acceptability of the color of tô (a local stiff porridge) (Ratnadass *et al.*, 1994a).

At Bagauda, Nigeria, chemical control of head bugs improved grain yield by 86%, seed size by 65 %, and reduced the proportion of low-density grains by 45% in 1989 (Icrisat, 1990). In 1990, 20% decrease in grain yield, 6% reduction in grain size and 24% increase in proportion of low-density grains were attributed to head bug damage (Icrisat, 1991). Head bug attack also significantly reduced the rate of gei-

**Table IX.** Head bug damage on sorghum in outgrowers' scheme in Nigeria, 1995.

Location	Latitude	Treatment	Grain yield (t/ha)	Head bug attack	Crop management
Danbatta	12° 5' N	Not sprayed	3.5	Very low	Good
Danbatta	12° 5' N	Not sprayed	2.0	Very low	Fair
Danbatta	12° 5' N	Not sprayed	0.8	Very low	Poor
Bagauda	11° 7' N	Not sprayed	2.2	Very low	Good
Bagauda	11° 7' N	Not sprayed	1.8	Very low	Fair
Jalingo	8° 9' N	Not sprayed	0.5	Heavy	Good
Kudu	9° 3' N	Two sprays	1.0	Little damage	Good
Kudu	9° 3' N	One spray	0.4	Heavy damage	Good
Kudu	9° 3' N	One spray	0	Total damage	Good

Adapted from Guinness Nigeria Plc, "Gnplc handling of Icsv 400" 1996.

mination (Icrisat, 1992). The degree of damage was correlated with head bug population. The economic injury level was 2.52 *E. oldi* per panicle in 1989 and 0.97 in 1990 (Ratnadass *et al.*, 1995).

When six sorghum cultivars, including three hybrids, were protected against head bug attack at Samaru, Nigeria in 1995, grain yield increased by 85.8% and grain size by 13.9% (Beyo, 1997). Based on the experience of Guinness Nigeria Plc, the second largest breweries in Nigeria which contracted 300 local small holder farmers to produce Icsv 400 in 1995, head bug is the most important factor limiting the adoption of the latter, and resistance to head bug is imperative. Furthermore, head bugs are less problematic above latitude 11°7' N and a good crop of sorghum can be obtained without applying insecticides. However, below this latitude, insecticides need to be applied (Table IX).

Storage insects

Ratnadass *et al.* (1994b, 1997) conducted surveys of losses caused by storage insect pests of sorghum in some villages of the second and third regions of Mali. They found that the most important storage pests were *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) and *Sitotroga cerealella* (Olivier), followed by *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Corcyra cephalonica* (Stainton). A list of all insects and their status is given in table X. Except in sorghum stored in bags, weight losses (when applied to the total amount of grain stored and considered over the whole storage period) were very low, generally less than 1%, especially in local guinea sorghum stored as bundles of heads in mud granaries, in the third region. Damage was higher (2-3% over the whole storage period) on improved cau-

datum varieties, or when threshed grain was stored in bags, irrespective of the variety, particularly in the second region.

Other pests

The list of lepidopterous caterpillars, head beetles, heteropteran bugs other than mirids, and earwigs reported to feed on sorghum panicles has been provided in Ratnadass and Ajayi (1995). Yield loss assessments are yet to be done for these insects, although they occur throughout the West and Central Africa region.

**Acknowledgements** — Insect species were identified by specialists at the Laboratoire de faunistique et de taxonomie, Cirad-Ca, Montpellier, France, at IIE, London, UK, and the Insect Museum, Institute for Agricultural Research, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria. The authors thank Dr. V.C. Umeh for his useful comments on the manuscript.

References

ABU J.F., 1986a. Biology and control of insect pests of sorghum in the southern Guinea savanna zone of Nigeria. Samaru, Zaria, Nigeria, Institute for Agricultural Research, 23 p. (limited distribution).  
ABU J.F., 1986b. Dry-season populations of *Sesamia calamistis* Hampson (Lepidoptera: Noctuidae) on sorghum at Mokwa in the southern Guinea savanna zone of Nigeria. Presented at the 16<sup>th</sup> Annual Conference of the Nigerian Society for Plant Protection, 16-20 March 1986, Ahmadu Bello University, Samaru, Zaria, Nigeria, 11 p.

Table X. List of insect species associated with sorghum grain stored in villages of the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> regions of Mali.

Order	Family	Species	Pest status
Coleoptera	Bostrychidae	<i>Rhyzopertha dominica</i> (Fabricius)	Primary
		<i>Cryptolestes</i> sp.	Secondary
		<i>Sitophilus oryzae</i> (Linnaeus)	Primary
	Curculionidae	<i>Sitophilus zeamais</i> (Motschulsky)	Primary
		<i>Attagenus fasciatus</i> (Thunberg)	Secondary
	Dermestidae	<i>Trogoderma</i> sp.	Primary
		<i>Carpophilus</i> sp.	Secondary
	Nitidulidae	<i>Oryzaephilus mercator</i> (Fauvel)	Secondary
	Silvanidae	<i>Alphitobius diaperinus</i> (Panzer)	Secondary
	Tenebrionidae	<i>Tribolium castaneum</i> (Herbst)	Secondary
		<i>Tribolium confusum</i> Jacquelin du Val	Secondary
Lepidoptera	Gelechiidae	<i>Sitotroga cerealella</i> (Olivier)	Primary
	Pyralidae	<i>Corcyra cephalonica</i> (Stainton)	Primary
		<i>Plodia interpunctella</i> (Hübner)	Primary
Heteroptera	Anthracoridae	<i>Xylocoris flavipes</i> (Reuter)	Predator
	Reduviidae	<i>Amphibolus venator</i> (Klug)	Predator
Hymenoptera	Pteromalidae	<i>Anisopteromalus calandrae</i> (Howard)	Parasitoid



- AJAYI O., 1987. Insecticidal control of the sorghum stem borer. *In* Cereals Research Programme. Cropping Scheme Report, 1987. Samaru, Zaria, Nigeria, Institute for Agricultural Research, p. 35-38 (limited distribution).
- AJAYI O., 1989. Stem borers of sorghum in West Africa with emphasis on Nigeria. *In* Icrisat 1989. International Workshop on Sorghum Stem Borers, 17-20 November 1987, Icrisat Center Patanchera, India (NWANZE K.F., ed.), Patancheru, India, Icrisat, p. 27-31.
- AJAYI O., 1993. Sorghum entomology 1993 annual report. Kano, Nigeria, Icrisat West African Sorghum Improvement Program, 39 p.
- AJAYI O., 1995a. Spittle bug biology, distribution, damage and control. *In* Icrisat Sahelian Center 1995. Icrisat and Collaborative Programs Western and Central Africa Region Annual Report 1994. Niamey, Niger, Icrisat Sahelian Center, p. 142.
- AJAYI O., 1995b. On-farm survey of sorghum head bugs. *In* Icrisat Sahelian Center. Icrisat and Collaborative Programs Western and Central Africa Region Annual Report 1994. Niamey, Niger, Icrisat Sahelian Center, p. 139-141.
- AJAYI O., TABO R., ALI D., 1996a. Incidence of stem borers on post rainy season transplanted sorghum in Cameroon, Nigeria and Tchad in the 1995-1996 crop. *International Sorghum and Millets Newsletter* 37 : 58-59.
- AJAYI O., TABO R., OBALE F., NDIKAWA R., GEORGES T., DJONEWA, NOUDJALBAYE B., NGANARA K., MAKHAMAT D., 1996b. Insect pests Surveys for head bugs. Icrisat Sahelian Center. Icrisat and Collaborative Programs Western and Central Africa Region Annual Report 1995, 107 p.
- AKPA A.D., ERINLE I.D., AJAYI O., 1995. Sorghum pathology. *In* Cereals Research Programme. Cropping Scheme Report, Samaru, Zaria, Nigeria, Institute for Agricultural Research, p. 20. (limited distribution).
- BOWDEN J., 1965. Sorghum midge, *Contarinia sorghicola* (Coq.) and other causes of grain sorghum losses in Ghana. *Bulletin of Entomological Research* 56 : 169-189.
- BEYO J., 1997. Ecology of *Eurystylus oldi* Poppius (Hemiptera: Miridae): a pest of sorghum. MSc thesis, Ahmadu Bello University. Zaria, Nigeria, ABU, 70 p.
- DAKOUE D., 1988. Rapport annuel d'activités 1987, Inera, Station de Farako-Ba. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, Institut d'études et de recherches agricoles (limited distribution).
- DAKOUE D., LANKOANDE A., 1992. Les lépidoptères foreurs de tige du sorgho : fluctuations saisonnières, importance économique et perspectives de lutte intégrée. *Sahel PV Info. Bulletin d'information en protection des végétaux de l'Uctr/Pv* 42 : 16-22.
- DEEMING J.C., 1981. The hemipterous fauna of a northern Nigerian cotton plot. *Samaru Journal of Agricultural Research* 1 : 211-222.
- DESCAMPS M., 1954. Insectes nuisibles aux cultures et insectes prédateurs récemment observés dans le Nord-Cameroun. *L'Agronomie tropicale* 9 : 174-182.
- DOUMBIA Y.O., BONZI S.M., 1985. Note sur les problèmes des insectes des panicules du sorgho au Mali. *In* Proceedings of the West African Regional Sorghum Network Workshop, 21-24 October 1985, Bamako, Mali. Ouagadougou, Burkina Faso, Safgrad/Icrisat, p. 173-182.
- DOUMBIA Y.O., BONZI S.M., 1989. Inventaire et distribution des insectes du mil et du sorgho au Mali. *L'Agronomie tropicale* 44 : 185-195.
- GAHUKAR R.T., DOUMBIA Y.O., BONZI S.M., 1989. *Eurystylus marginatus* Odh., a new pest of sorghum in the Sahel. *Tropical Pest Management* 35 : 212-213.
- ICRISAT Sahelian Center, 1990. Icrisat West African Programs Annual Report 1989. Niamey, Niger, Icrisat Sahelian Center, 141 p.
- ICRISAT Sahelian Center, 1991. Icrisat West African Programs Annual Report 1990. Niamey, Niger, Icrisat Sahelian Center, 132 p.
- ICRISAT Sahelian Center, 1992. Icrisat West African Programs Annual Report 1991. Niamey, Niger, Icrisat Sahelian Center, 144 p.
- ICRISAT Sahelian Center, 1993. Icrisat West African Programs Annual Report 1992. Niamey, Niger, Icrisat Sahelian Center, 76 p.
- ICRISAT Sahelian Center, 1994. Icrisat West African Programs Annual Report 1993. Niamey, Niger, Icrisat Sahelian Center, 94 p.
- ICRISAT, 1995a. Icrisat Report 1994. Patancheru, India, Icrisat, 79 p.
- ICRISAT Sahelian Center, 1995b. Icrisat West African Programs Annual Report 1994. Niamey, Niger, Icrisat Sahelian Center, 79 p.
- MACFARLANE J.H., 1989. The hemipterous insects and spiders of sorghum in northern Nigeria. *Insect Science and its Application* 10 : 277-284.
- NIBOUCHE S., 1993. Rapport d'activité 1992. Unité de recherche entomologie appliquée, Programme cultures cotonnières paysannes, Cirad-ca. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, Cirad-ca, 34 p. (limited distribution).
- NWANZE K.F., 1985. Sorghum insect pests in West Africa. *In* Proceedings of the International Sorghum Entomology Workshop, 15-21 July 1984, College Station, Texas, Etats-Unis (LEUSCHNER K., TEETES G.L., eds). Patancheru, India, Icrisat, p. 37-43.



- NWANZE K.F., 1988. Distribution and seasonal abundance of some major insect pests of sorghum in Burkina Faso. *Insect Science and its Application* 9 : 313-321.
- NWASIKE C.C., 1995. Breeding for resistance to sorghum midge in West Africa. *In* Panicle insect pests of sorghum and pearl millet : proceedings of an International Consultative Workshop, 4-7 October 1993, Icrisat Sahelian Center, Niamey, Niger (NWANZE K.F., YOUM, O., eds). Patancheru, India, Icrisat, p. 211-212.
- RATNADASS A., 1991. Rapport de mission au Togo (23-27 octobre 1991). Bamako, Mali, Icrisat West African Sorghum Improvement Program-Mali, 4 p. (limited distribution).
- RATNADASS A., 1992a. Rapport de mission, Sénégal (6-14 octobre 1992). Bamako, Mali, Icrisat West African Sorghum Improvement Program-Mali. 6 p. (limited distribution).
- RATNADASS A., 1992b. Rapport de mission, Bobo - Dioulasso (29-30 octobre 1992). Bamako, Mali: Icrisat West African Sorghum Improvement Program-Mali, 4 p. (limited distribution).
- RATNADASS A., 1993. Perspectives de lutte intégrée contre les punaises piqueuses des panicules (Heteroptera: Miridae), ravageurs du sorgho en Afrique de l'Ouest. *In* Atelier d'entomologie appliquée, Lutte intégrée contre les ravageurs des cultures, 31 Mars-1 Avril 1993. (GIRARDOT B., ed), Montpellier, France, Cirad, p. 23-32.
- RATNADASS A., 1994a. Rapport de mission: Kono-bougou, Cinzana, Nogolasso et Bobo-Dioulasso (24-27 octobre 1993). Sous-programme entomologie Cirad-Ca, Icrisat/Wasip. Bamako, Mali, Icrisat West African Sorghum Improvement Program-Mali. 2 p. (limited distribution).
- RATNADASS A., 1994b. Rapport de mission au Mali et Burkina Faso (17-22 October 1994). Bamako, Mali, Programme conjoint sorgho Icrisat-Cirad, 6 p. (limited distribution).
- RATNADASS A., 1995. Compte rendu de visite des essais conjoints Icrisat-Cirad IPR/CMDT à N'golobougou (12/10/95). Bamako, Mali, Programme conjoint sorgho Icrisat-Cirad, 1 p. (limited distribution).
- RATNADASS A., AJAYI O., 1995. Panicle insect pests of sorghum in West Africa. *In* Panicle insect pests of sorghum and pearl millet: proceedings of an International Consultative Workshop, 4-7 October 1993, Icrisat Sahelian Center, Niamey, Niger (NWANZE K.F., YOUM O., eds). Patancheru, India, Icrisat, p. 29-38.
- RATNADASS A., BANDYOPADHYAY R., CHANTE-REAU J., DIARRA M., SANOGO D., 1995. Compte rendu de visite dans la région de Kolokani (26 octobre 1995). Bamako, Mali, Programme conjoint sorgho Icrisat-Cirad, 2 p. (limited distribution).
- RATNADASS A., BERTE S., DIARRA D., CISSE B., 1994b. Insect losses on sorghum stored in selected Malian villages with particular emphasis on varietal differences in grain resistance. *In* Stored product protection: Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Working Conference on Stored-product Protection 17-23 April 1994, Canberra, Australia (HIGHLEY E., WRIGHT E.J. BANKS H.J., CHAMP B.R. eds). Oxon, UK, CAB International, p. 953-959.
- RATNADASS A., CISSE B., 1990. Rapport de mission en Côte d'Ivoire (7-9 octobre 1990). Bamako, Mali, Icrisat West African Sorghum Improvement Program - Mali, 3 p. (limited distribution).
- RATNADASS A., CISSE B., 1995. Compte rendu de mission à Sikasso (17-18 octobre 1995). Bamako, Mali, Programme conjoint sorgho Icrisat-Cirad, 4 p. (limited distribution).
- RATNADASS A., CISSE B., DIARRA D., SIDIBE B., SOGOBA B., THIERO C.A.T., 1997. Pertes occasionnées par les insectes aux stocks villageois de sorgho au Mali : comparaison de l'aptitude au stockage de variétés locales guinea et variétés améliorées caudatum. Rapport d'études conduites de 1994 à 1996 en 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> région du Mali, Bamako, Mali, Programme conjoint sorgho Icrisat-Cirad, 10 p. (limited distribution).
- RATNADASS A., DOUMBIA Y.O. AJAYI O., 1995. Bioecology of sorghum head bug *Eurystylus immaculatus* and crop losses in West Africa. *In* Panicle insect pests of sorghum and pearl millet : proceedings of an International Consultative Workshop, 4-7 October 1993, Icrisat Sahelian Center, Niamey, Niger (NWANZE, K.F., YOUM O. eds.). Patancheru, India, Icrisat, p. 91-102.
- RATNADASS A., DOUMBIA Y. O., HAMADOUN A., 1992. *Neolimnus aegypticus* Matsumura (Hemiptera: Cicadellidae) et *Sesamia penniseti* Tams et Bowden (Lepidoptera: Noctuidae), deux nouveaux ravageurs du sorgho de décrue dans la zone des lacs au nord du Mali. *L'Agronomie tropicale* 46 : 321-326.
- RATNADASS A., RAMAIAH K.V., SHARMA H.C. CISSE B., 1994a. Réaction de variétés de sorgho aux attaques de la punaise des panicules *Eurystylus immaculatus* Odhiambo (Heteroptera, Miridae) en Afrique de l'Ouest. *In* Progress in Food Grain Research and Production in Semi-Arid Africa: proceedings of the Safgrad Inter-Network Conference, 7-14 Mars 1991, Palais des congrès, Niamey, Niger (MENYONGA J.M., BEZUNEH T., YAYOCK J.Y., SOUMANA I., eds). Ouagadougou, Burkina Faso, Safgrad, p. 333-343.
- SHARMA H.C., 1989. Tour report: Studies on sorghum head bugs in West Africa (17 September-19 October 1988). Report of cooperative work

carried out at Wasip, Kano, and Wasip, Samanko. Patancheru, India, Icrisat, 6 p. (limited distribution).

SHARMA H.C., DOUMBIA Y.O., DIORISSO N.Y., 1992. A headcage technique to screen sorghum for resistance to mirid head bug, *Eurystylus immaculatus* Odh. in West Africa. Insect Science and its Application 13 : 417-427.

SHARMA H.C., DOUMBIA Y.O., HAIDARA M., SCHEURING J.F., RAMAIAH K.V., BENINATI N.F., 1994. Sources and mechanisms of resistance to sorghum head bug, *Eurystylus immaculatus* Odh. in West Africa. Insect Science and its Application 15 : 39-48.

STECK G.J., TEETES G.L., MAIGA S.D., 1989. Species composition and injury to sorghum by panicle feeding bugs in Niger. Insect Science and its Application 10 : 199-217.

STONEDHAL G.M., 1995. Taxonomy of African *Eurystylus* (Heteroptera: Miridae), with a review of their status as pests of sorghum. Bulletin of Entomological Research 85 : 135-156.

VERSTEEG M.N., 1995. Rapport de l'atelier de formation sur un sondage diagnostic rural participatif et rapide du canton de Madiagho, république du Tchad, 66 p. (limited distribution).

# Bioécologie des foreurs de tiges du sorgho en Afrique de l'Ouest et perspectives de lutte intégrée

D. DAKOUO<sup>1</sup>, A. RATNADASS<sup>2</sup>

1. Inera, Crra de Farako-Ba, BP 910, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

2. Programme conjoint sorgho Icrisat-Cirad, Samanko, BP 320, Bamako, Mali

**Résumé** — Les lépidoptères foreurs de tiges, principalement *Busseola fusca*, *Eldana saccharina*, *Sesamia* spp., *Coniesta ignefusalis* et *Chilo diffusilineus*, sont considérés depuis plusieurs dizaines d'années comme une menace sérieuse pour la production céréalière en Afrique de l'Ouest. Ce groupe de ravageurs a même pris récemment de l'importance dans la région, comme le rapportent les différents travaux réalisés au cours de cette décennie. La réduction des pertes de rendement passe par la mise au point de méthodes de lutte efficaces et durables à la portée d'une paysannerie pauvre. Ces méthodes de lutte ne peuvent être élaborées qu'à partir d'une meilleure connaissance de la biologie, de l'écologie et des relations trophiques entre la plante hôte et l'insecte ravageur. La présente note fait le point des résultats de travaux entrepris au Mali et au Burkina Faso, depuis 1990 sur le sorgho. Ces travaux ont concerné l'évaluation des pertes en rendement ; des observations sur les fluctuations saisonnières des populations larvaires et imaginaires grâce au piégeage phéromonal et à des semis échelonnés au cours de la campagne humide ; des études sur la diapause et les conditions de sa rupture chez *B. fusca* ; la mise au point d'un élevage de masse de *B. fusca* sur milieu artificiel ; l'influence des variétés et des pratiques culturales (dates et densités de semis, doses de fumure, associations culturales) sur l'importance des attaques. Cette synthèse dégage des perspectives de lutte intégrée et les orientations de recherches futures.

**Abstract** — Bioecology of sorghum stem borers in West Africa and prospects for integrated pest management. Lepidopterous stem borers, mainly *Busseola fusca*, *Eldana saccharina*, *Sesamia* spp., *Coniesta ignefusalis* and *Chilo diffusilineus*, have been known for several decades as major threats to cereal crop production in West Africa. This group of insect pests has become even more important in the region during the last decade, which justified recent research efforts. Reduction of yield losses caused by stem borers can be achieved by efficient and sustainable control methods that small scale and resource-poor farmers can easily adopt. However, such control methods need to be developed, based on a better understanding of stem borers biology, ecology and relationships with host-plant. The present paper aims at reviewing research work carried out on sorghum in this area, mainly in Burkina Faso and Mali since 1990, with emphasis on the following topics: yield loss assess-

ment, population dynamics based on pheromone trapping and repeated sowing experiments during the crop season, studies on diapause in *B. fusca* and its termination, continuous mass rearing of *B. fusca* on artificial diet, effect of genotypes and agronomic practices (dates and densities in planting, dosages of fertilizer, intercropping) on stem borer damage. Prospects for integrated pest management and future research plans are outlined.

Les lépidoptères foreurs de tiges sont parmi les insectes ravageurs des céréales les plus importants en Afrique de l'Ouest. Quatre espèces *Busseola fusca* (Fuller) et *Sesamia calamistis* Hampson (Noctuidae), ainsi qu'*Eldana saccharina* Walker et *Coniesta ignefusalis* (Hampson) (Pyralidae) sont à l'origine d'importants dégâts et pertes en rendement (Harris, 1962 ; Brenière, 1971 ; Nwanze, 1985 ; Bosque-Perez et Dabrowski, 1989 ; Harris et Nwanze, 1992).

Au Sud du Sahara, *B. fusca* est l'espèce la plus répandue des foreurs de tiges du sorgho (Brenière, 1971 ; Harris, 1989 ; Harris et Nwanze, 1992). Sa limite au Burkina Faso se situe sous la latitude 11° N (Nwanze, 1988). On rencontre au moins quatre espèces différentes de *Sesamia*, dont *S. calamistis*, *S. botanephaga* Tams & Bowden, *S. poephaga* Tams & Bowden, et *S. penniseti* Tams & Bowden, principalement dans les zones semi-arides en Afrique de l'Ouest (Harris, 1985).

*Coniesta ignefusalis* est un ravageur primaire du mil, mais attaque le sorgho dans les zones sèches au Sahel (Harris, 1989 ; Betbeder-Matibet, 1989 ; Youn et al., 1996a), tandis qu'*E. saccharina*, avec une distribution similaire, est surtout un ravageur de la canne à sucre et du maïs (Girling, 1980 ; Harris, 1989). Sa limite serait sous la latitude 12° N (Nwanze, 1985). *Chilo diffusilineus* J. de Joannis (Pyralidae), signalé pour la première fois au Burkina Faso par



Bonzi (1982), peut constituer un danger pour le sorgho.

Les pertes de rendement dues aux foreurs de tiges sont très variables, pouvant être nulles ou totales (Harris, 1989) ; Walker (1960) rapporte qu'une diminution de 1 % dans les attaques de *B. fusca* se traduit par une augmentation du rendement de 35 lb/acre en culture de maïs. *Busseola fusca* peut causer de 40 à 100 % d'infestations et 15 % de pertes en grains (Seshu Reddy, 1989). Des pertes de 36 à 56 % ont été obtenues en conditions d'infestation artificielle de cet insecte au Mali (Traoré, 1995). Dakouo et Lankoandé (1992) ont rapporté des pertes en rendement dues aux foreurs (toutes espèces confondues) variant de 13 à 24 % sur des variétés locales de sorgho cultivées en station au Burkina Faso. En ce qui concerne *C. ignefusalis*, Youm *et al.* (1996) signalent des pertes de rendement variant entre 0,5 et 45 % sur mil.

Les mécanismes des attaques des foreurs de tige ont été étudiés par plusieurs auteurs (Harris, 1962 ; Hill, 1972 ; Appert et Deuse, 1982 ; Harris, 1989). Nous prendrons *B. fusca* comme exemple. Au début de la saison des pluies, les larves en diapause se nymphosent et donnent des adultes. Après l'accouplement, les femelles pondent sur les plantes, sur les gaines foliaires ; après une période d'incubation d'une semaine environ, les larves éclosent ; elles vont gagner le cornet foliaire et s'alimenter sur les jeunes feuilles avant de pénétrer dans la tige. Ce comportement s'apparente à celui des larves de *Chilo partellus* (Swinhoe), à la différence des larves de *Sesamia* spp. qui peuvent forer directement la tige à leur éclosion (Harris, 1989).

Ces larves des premiers stades de *B. fusca* sont à l'origine des dégâts observés sur les cultures au stade végétatif se traduisant par des fenêtrages foliaires et des cœurs morts. Elles peuvent migrer d'une plante à l'autre (Harris, 1962). Les larves de la deuxième génération vont infester les plantes âgées. Les dégâts sont caractérisés par des activités de minage à l'intérieur des tiges jusqu'au pédoncule floral et à l'origine de la casse des tiges et des pédoncules en cas de vent, et du mauvais remplissage en grains de la panicule.

La répartition des différentes espèces et leurs dégâts sont fonction des facteurs abiotiques (conditions climatiques) et biotiques (biologie des espèces, disponibilité en plantes hôtes cultivées et sauvages, ennemis naturels et action de l'homme). Une meilleure connaissance des différents facteurs impliqués et de leur interaction est indispensable dans l'élaboration de stratégies de lutte durable. La présente synthèse se propose de faire le point sur ces différents aspects à partir des travaux réalisés au Burkina Faso et au Mali au cours des huit dernières années.

## Dynamique des populations

### Etudes par dissection de tiges

#### Composition spécifique des populations larvaires (Farako-ba et Samanko, 1990 à 1996)

Des dissections réalisées à intervalles réguliers sur les tiges de sorgho, dans le cadre d'essais comportant des dates de semis échelonnées, ont donné les résultats portés sur les figures 1a et 1b. A Farako-ba, *B. fusca* est l'espèce la plus abondante (61 % en moyenne) sur le sorgho avec des variations allant de 30 % à 98 % selon les années. Elle est suivie de *Sesamia* spp. (24,5 %), puis de *E. saccharina* (6 %) et de *C. ignefusalis* (4,4 %).

A Samanko, les distributions de *B. fusca* (47 %) et de *Sesamia* spp. (43 %) sont équivalentes sur l'ensemble des sept années, avec des variations importantes d'une année à l'autre, en faveur de *B. fusca*. Elles sont suivies de loin (9 %) par *E. saccharina* ; *C. ignefusalis* est l'espèce la moins importante sur sorgho. La présence de *C. diffusilineus* à Farako-ba, bien qu'elle y soit l'espèce la moins importante (2,4 %) est une caractéristique de ce site ; on note en effet son absence à Samanko.

#### Dynamique de l'entrée en diapause de *B. fusca* à Samanko

Des études préliminaires réalisées à Samanko ont montré que le nombre de stades larvaires de *B. fusca* variait de 5 à 7 (Ratnadass, données non publiées). A Samanko en 1990, toutes les larves de *B. fusca* récoltées en septembre étaient du premier ou troisième stade 5 à 6 mues avant nymphose ; le phénomène de diapause s'est manifesté à partir du mois d'octobre, et toutes les larves récoltées en décembre étaient des larves de dernier stade diapausantes (figure 2).

#### Evolution des attaques en fonction des années, des dates de semis et des stades phénologiques du sorgho (Farako-ba, 1990 à 1996)

Cette étude a été menée pendant sept années consécutives (1990-1996) au cours de la saison humide. La variété locale Gnofing était semée chaque année à quatre dates espacées de 15 jours. Les pourcentages d'entre-nœuds attaqués ont été observés par dissections réalisées à 60, 75, 90 jours après levée (Jal), et à la récolte. On a observé une aggravation (logique) de l'attaque avec le stade phénologique de l'observation, avec en moyenne respectivement 0,1 ; 1,0 ; 2,4 et 8,0 % d'entre-nœuds attaqués (sur la période 1990-1995). En revanche, sur la même période, on n'a pas observé de tendance quelconque, liée à la date de semis. Très bas jusqu'en 1994 (moins de 3 %), le pourcentage moyen d'entre-nœuds attaqués a augmenté en 1995, dépassant 9 %, pour atteindre 17,4 % en 1996.

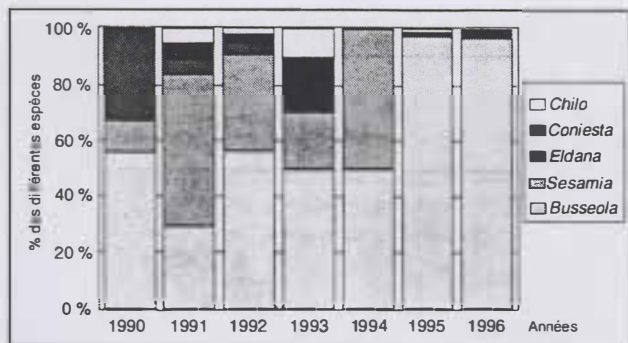


Figure 1a. Composition spécifique en foreurs de tiges du sorgho à Farako-ba.

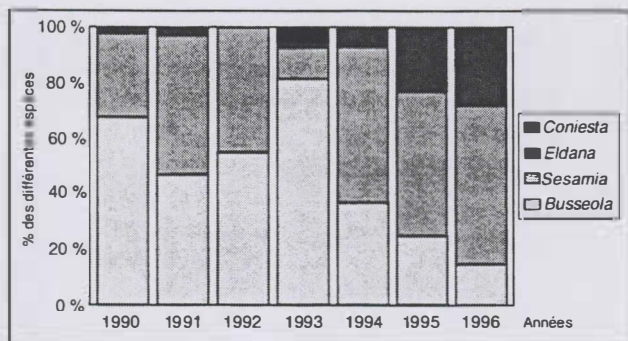


Figure 1b. Composition spécifique en foreurs de tiges du sorgho à Samanko.

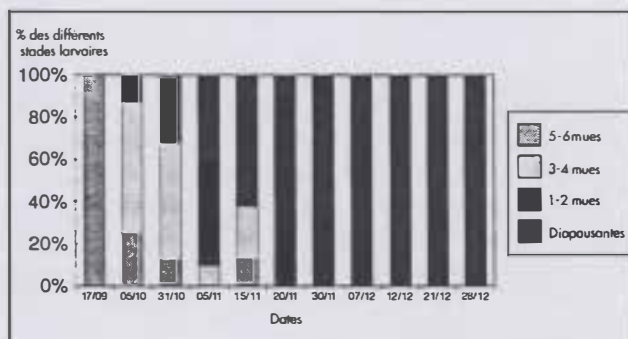


Figure 2. Composition de la population larvaire de *B. fusca* à Samanko en 1990.

## Etudes par piégeage phéromonal (Samanko et Farako-ba, 1992-1996)

### Efficacité du piégeage sexuel de *B. fusca*

Après une étude préliminaire effectuée en 1992 à Samanko avec des pièges delta à colle non siccative et une phéromone synthétique (AgriSense-Bcs Ltd, Pontypridd, Royaume-Uni) (Betbeder-Matibet *et al.*, 1993), le piégeage des mâles de *B. fusca* a été réalisé depuis 1993, de façon parallèle sur les stations de Farako-ba et de Samanko (Maïga, 1993 ; Cissé *et al.*, 1995 ; Sylla, 1995 ; Ratnadass *et al.*, 1996a ; Ratnadass *et al.*, sous presse).

En 1993, nous avons comparé l'efficacité de trois types de pièges : pièges delta et entonnoirs

d'AgriSense sur les deux sites, et pièges en assiettes d'aluminium (développés pour la capture de *C. igne-fusalis* : Youm et Beevor, 1995) à Samanko. A Farako-ba, deux orientations orthogonales ont été comparées pour le premier type (unidirectionnel, contrairement aux deux autres), tandis que deux couleurs (blanc et vert) et deux adjuvants (détergent liquide et huile de moteur) ont été comparés pour le second type. Les résultats enregistrés (nombre de captures par semaine ou par jour, pendant la période de captures maximales) sont portés au tableau I.

Les pièges entonnoirs ont été les plus efficaces, avec l'un ou l'autre adjuvant, la couleur blanche étant plus attractive que le vert, sans que les différences soient significatives. Ils étaient suivis par le piège en aluminium, le piège delta étant le moins efficace (0 capture à Samanko) et ce, indépendamment de son orientation à Farako-ba.

En 1994, on a comparé l'efficacité de deux types de pièges à phéromone de *B. fusca* sur les deux stations. Durant la période de pic de captures à Samanko (du 26 septembre au 30 octobre), on n'a capturé que deux mâles par semaine (1,3 après transformation arcsinus racine carrée) avec les pièges entonnoirs, comparé à 5 avec les pièges en aluminium (2,2 après transformation :  $Etm \pm 0,29$  pour les valeurs transformées). A Farako-ba, du 3 au 30 octobre, le nombre de mâles capturés chaque semaine dans les pièges entonnoirs était de 19 (4,3 après transformation), comparé à 35 dans les pièges en aluminium (5,6 après transformation :  $Etm \pm 0,82$ ). Bien que les différences ne soient pas significatives, les captures réalisées au piège en aluminium étaient plus importantes sur les deux sites.

En 1995 et 1996, l'effet de la hauteur du piège sur les captures a été étudié et les résultats sont contradictoires d'une station à l'autre. Ainsi, à Samanko, le nombre de captures a été supérieur pour les pièges placés à une hauteur de 100 cm par rapport à ceux placés à une hauteur de 50 cm (Sylla, 1995), alors que l'inverse était observé à Farako-ba. Durant les quatre années d'étude, les nombres de capture ont été nettement plus élevés à Farako-ba qu'à Samanko.

### Fluctuations saisonnières des populations imaginaires de *B. fusca*

En 1995 et 1996, le piégeage à phéromone au moyen d'assiettes d'aluminium avec détergent liquide, a été utilisé pour suivre les populations de *B. fusca*. Sur les deux stations, un premier vol, caractérisé par un nombre de captures très faible s'échelonnant sur une durée de deux semaines au maximum, a été observé en juin-juillet et un second, caractérisé par un nombre de captures nettement plus important s'est étalé sur une période beaucoup plus longue (août à novembre ou même décembre) (figures 3a et 3b).



Tableau I. Captures de *Busseola fusca* en fonction du type de piège (saison humide 1993 à Farako-ba et Samanko).

Type de piège	Nombre de captures par semaine (Farako-ba, 25/9-24/10) <sup>(1)</sup>	Nombre de captures par jour (Samanko, 12-14/10) <sup>(2)</sup>
Entonnoir blanc avec détergent	41 (6,1) <sup>(3)</sup> a	-
Entonnoir blanc avec huile	42 (6,4) a	-
Entonnoir vert avec détergent	32 (5,5) a	6 (2,4) <sup>(3)</sup> a
Entonnoir vert avec huile	25 (4,9) ab	-
Delta orientation 1	10 (2,7) b	0 (0) b
Delta orientation 2	9 (2,5) b	-
Assiettes aluminium	-	5 (2,1) a
Etm	(± 0,71)	(± 0,18)

(1) Analysé comme un dispositif en randomisation totale à 4 répétitions.

(2) Analysé comme un dispositif en randomisation totale à 3 répétitions.

(3) La valeur a été analysée après transformation racine carrée ; les valeurs transformées sont indiquées entre parenthèses. Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % par la méthode de Newman-Keuls.

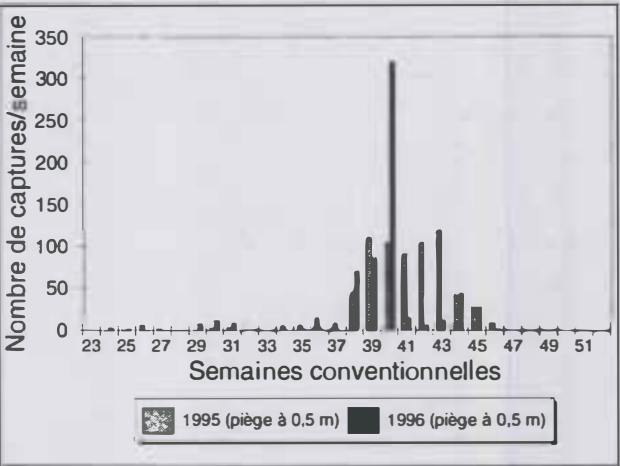


Figure 3a. Captures de mâles de *B. fusca* par piégeage phéromonal à Farako-ba.

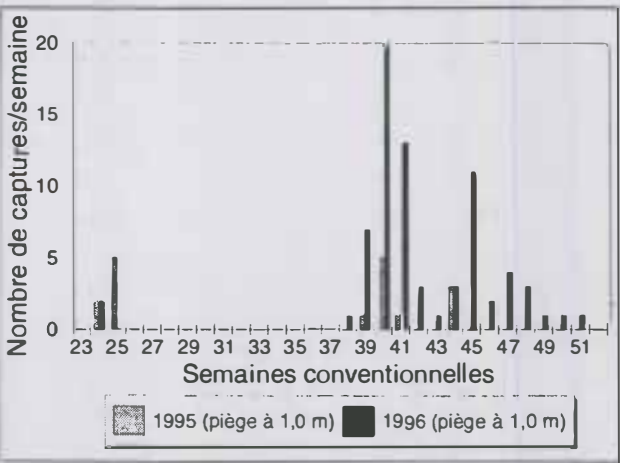


Figure 3b. Captures de mâles de *B. fusca* par piégeage phéromonal à Samanko.

Ces résultats confirment ceux obtenus en 1992 à Samanko (Betbeder-Matibet *et al.*, 1993). Sur les deux stations, on a observé deux générations par an. Une troisième génération n'est toutefois pas exclue. Le premier vol est vraisemblablement dû aux adultes issus des larves de la dernière génération de l'année précédente, ayant passé la saison sèche et rompu leur diapause dans les tiges de sorgho. Cette rupture de diapause semble très groupée, et donne logiquement lieu à un second vol beaucoup plus étalé, qui débute trois à quatre mois plus tard, pour durer jusqu'à près de trois mois. La grande majorité des larves de dernier stade de la deuxième génération de l'année et, le cas échéant, la totalité de celles de la troisième entrent en diapause.

### Etudes sur d'autres espèces

Des résultats similaires de captures obtenus dans le cadre d'une étude collaborative menée en 1994 et 1995 à l'initiative d'O. Youm, du Centre sahélien de l'Icrisat (Niger) existent pour *C. ignefusalis* (Youm *et al.*, 1996b).

En 1994, on a également évalué à Samanko et Farako-ba, en utilisant les pièges en assiettes d'aluminium avec détergent, les capsules de phéromones de *S. calamistis* développées par l'Institut national de la recherche agronomique (Inra-France) (Hamadoun, 1992), et déjà évaluées au Sénégal (Betbeder-Matibet *et al.*, 1993). En outre, sur les stations de l'Institut d'économie rurale de Kogoni et Niono (Ier-Mali), les mêmes phéromones ont été testées, en utilisant des pièges faits à partir de bouteille plastique à eau minérale (Hamadoun, 1992).



A Samanko, on n'a capturé qu'un mâle d'espèce *S. calamistis*, en décembre, alors qu'on a effectué de nombreuses captures de la noctuelle *Mythimna loreyi* Duponchel, ainsi qu'une pyrale non identifiée. A Farako-ba, on n'a enregistré aucune capture de *S. calamistis*, mais de nombreuses captures de *M. loreyi*, jusqu'à 40 par semaine début décembre. A Kogoni, de septembre à octobre, trois mâles de *S. calamistis* ont été capturés, pour sept *M. loreyi*, alors qu'aucune des deux espèces n'était capturée à Niono.

Ceci pourrait confirmer l'hypothèse, déjà avancée, de dialectes phéromonaux (Betbeder-Matibet *et al.*, 1993).

## Etudes sur la diapause larvaire de *B. fusca* et les conditions de sa rupture

Les larves de dernier stade de *B. fusca* passent la mauvaise saison (sèche ou froide) en diapause, pendant six mois ou plus, dans les tiges de sorgho après la récolte. Des études sur la diapause et sa rupture ont été réalisées sous différentes latitudes sur le continent africain, principalement au Nigeria, au Kenya et en Afrique du Sud, représentant des conditions et combinaisons de température, d'humidité relative et de photopériode très diverses.

Au Nigeria, selon Usua (1970), les larves diapausantes étant présentes toute l'année, sans relation avec l'état de la plante hôte, l'entrée en diapause serait sous contrôle génétique. Adesiyun (1983) a montré que c'est l'humidité relative plutôt que le contact avec l'eau liquide et son absorption, qui induit la terminaison de la diapause. Au Kenya, Okuda (1988 et 1990) a montré que la dégradation de la nourriture est le facteur principal d'entrée en diapause, alors que sa rupture est associée à l'eau. Pour cet auteur, c'est la pluie qui stimule la nymphose chez les larves diapausantes, mais celle-ci n'est opérante que vers la fin de la dernière phase de la diapause (soit trois ou quatre mois après son induction).

En Afrique du Sud, les travaux de Kfir (1993) suggèrent que la combinaison des conditions de température et de photopériode jouent un rôle important dans la terminaison de la diapause, et que l'eau intervient comme un stimulus pour la morphogenèse une fois celle-ci terminée. Ainsi, à 26 °C, avec une photopériode de 16 h-8 h, et un contact avec de l'eau liquide, la diapause était rompue après 34 jours.

Les travaux présentés ci-après ont été réalisés respectivement à Farako-ba de 1991 à 1993, et à Samanko en 1995 et 1996. L'expérimentation de Farako-ba a consisté à constituer deux lots de tiges sèches contenant des larves diapausantes. Le premier lot a été disposé à l'extérieur (sans abri) et le second dans l'insectarium (sous abri). On a réalisé des dissections tous les mois, de janvier à juillet, en notant les mortalités des larves et le passage à la nymphose. Le taux de mortalité des larves diapausantes était plus élevé lorsque les tiges étaient à l'extérieur (exposées aux intempéries) que lorsqu'elles étaient sous abri.

Les résultats sur la période d'entrée en nymphose sont portés au tableau II. Cette période a été pratiquement la même chez les larves diapausantes soumises aux deux conditions, c'est-à-dire à partir du mois de mai, à l'exception des années 1992 et 1993, où les larves exposées à l'extérieur sont entrées en nymphose respectivement dès avril, et seulement en juin. On a toutefois observé un étalement de la période de nymphose sur trois mois (avril à juin) chez les larves sous abri. Cette période était plus courte chez les larves exposées à l'extérieur, probablement à la suite d'un contact avec les premières pluies intervenant à partir d'avril-mai dans la région de Bobo-Dioulasso.

A Samanko, en 1995 et 1996, des larves diapausantes, provenant de la dissection de tiges de sorgho, après la récolte de l'année précédente (respectivement 1994 et 1995), ont été stockées au laboratoire dans de la moëlle de tige de sorgho grossièrement broyée (après séchage et stérilisation à l'étuve) et soumises à deux régimes : « mouillé » (M : les larves étaient arrosées quotidiennement avec de l'eau distillée ; « sec » (S : les larves n'étaient pas arrosées). Toutefois, dans les deux cas, les larves étaient exposées à la forte humidité ambiante du laboratoire (Hr 85 %).

**Tableau II.** Période et taux de nymphose (%) en fonction des conditions de stockage des larves diapausantes (Farako-ba, 1991-1993).

Mois	1991 Abri	1991 Extérieur	1992 Abri	1992 Extérieur	1993 Abri	1993 Extérieur
Avril	0	0	0	1,7	0	0
Mai	1,9	1,7	1,8	40,9	0	0
Juin	20,0	34,0	26,9	0	30,9	14,5
Juillet	15,4	0	8,3	0	4,0	10,3
Août	0	0	0	0	0	0

Le taux de nymphose a été plus élevé chez les larves soumises à un contact quotidien avec de l'eau liquide, par rapport aux larves soumises à la seule humidité de l'air ambiant (tableau III). Ces dernières se sont nymphosées entre le 10 et le 20 juin quelle que soit la date de démarrage de l'expérimentation. A l'inverse, chez les larves soumises au régime «mouillé», l'entrée en nymphose a été d'autant plus rapide qu'elles étaient soumises plus tard dans l'année à ces conditions. En effet, ce délai était de 82, 53 ou 23, et 18 ou 17 jours, selon que les larves diapausantes étaient mises en contact permanent avec de l'eau liquide respectivement à partir de janvier, mars et avril.

### Elevage de masse continu de *B. fusca* sur milieu artificiel au laboratoire

Le développement d'une technique satisfaisante de criblage des variétés de sorgho pour la résistance repose avant tout sur la disponibilité d'une quantité suffisante de larves en temps voulu. Ceci ne peut être obtenu que par un élevage de masse sur milieu artificiel au laboratoire.

L'élevage continu de *B. fusca* a été réalisé au Kenya (Onyango et Ochieng'-Odero, 1994) et au Zimbabwe (Leuschner et Mihm, 1994). Il s'agit, dans les deux cas, d'un élevage individuel des larves et l'oviposition est obtenue sur des fragments de tiges fraîches. Outre la quantité importante de milieu nécessaire à cet élevage, on dénote une forte mortalité larvaire et nymphale.

Depuis 1993, des études ont été entreprises à Samanko et ont abouti à la mise au point d'une technique d'élevage de masse en continu de *B. fusca*. Le milieu nutritif utilisé est celui mis au point au centre de l'Icrisat pour l'Asie, en Inde, pour l'élevage de la pyrale *C. partellus* ; il s'agit d'un milieu gélosé contenant essentiellement de la farine de pois chiche et de la poudre de feuilles de sorgho (Taneja et Leuschner, 1985).

Les larves sont élevées de l'éclosion à la nymphose par groupes de 10 individus dans des boîtes contenant environ 85 g de milieu nutritif. L'accouplement et l'oviposition ont d'abord été obtenus dans des pondoirs constitués de bouteilles plastiques d'eau minérale (vides) d'1,5 l, à raison de quatre mâles pour trois femelles, sur des supports constitués de rouleaux de papier paraffiné (Ratnadass *et al.*, 1995a ; Ratnadass *et al.*, 1995b ; Ratnadass *et al.*, 1996b ; Ratnadass *et al.*, sous presse ; Traoré, 1995).

A partir de la souche récoltée en 1994, 19 générations successives avaient été élevées (en mars 1997), et une vingtième était en cours, à raison de 7,2 générations par an. Dans les conditions du laboratoire (T 25 °C ; Hr 85 % ; photopériode 12 h-12 h), la durée moyenne du cycle complet (œuf à œuf) est de 51 jours. Le facteur multiplicatif d'accroissement des populations par génération est de 52 en moyenne. Ces paramètres biologiques sont satisfaisants par rapport à ceux observés dans la nature ou obtenus sur des souches sauvages élevées sur des parties de plantes hôtes (Harris, 1989 ; Unnithan, 1987).

Une amélioration récente a été apportée par l'emploi de cages d'oviposition en bois grillagées de 40,5 cm de côté, dans lesquelles sont introduits 35 mâles et 30 femelles (Traoré, 1995). Une comparaison effectuée avec les pondoirs classiques n'a pas mis en évidence de différence significative pour les paramètres mesurés, hormis pour le nombre d'œufs pondus (tableau IV). Toutefois, l'oviposition en cages permet de tirer le meilleur parti de la totalité des adultes émergeant ; les cages sont beaucoup plus commodess que les bouteilles, autorisant une véritable production de masse.

### Etudes sur la résistance variétale

Plusieurs auteurs ont noté que les variétés locales, plus adaptées aux conditions de milieu, étaient plus tolérantes, même fortement infestées, que les variétés à haut potentiel de rendement (Brenière,

Tableau III. Taux de nymphose en fonction de la date de démarrage des tests de rupture de diapause par arrosage des larves (Samanko, 1995-1996).

Date de démarrage		10/01/1995	24/03/1995	13/04/1995	20/03/1996	19/04/1996
Nymphose (%)	M	17	55	65	2	84
	S	63	35	35	53	42
Durée de la terminaison <sup>(1)</sup>	M	82 (01/04)	23 (16/04)	18 (01/06)	53 (12/05)	17 (06/05)
	S	158 (16/06)	78 (10/06)	58 (10/06)	92 (20/06)	60 (18/06)

M : larves soumises au régime mouillé.  
S : larves soumises au régime sec.  
(1) en jours ; la date correspondante est donnée entre parenthèses.



**Tableau IV.** Comparaison des performances reproductives de *Busseola fusca* dans deux dispositifs d'oviposition (Samanko, 1995).

Génération	Bouteilles			Cages		
	Fécondation (%)	nb. œufs/femelle	éclosion (%)	Fécondation (%)	nb. œufs/femelle	éclosion (%)
12 <sup>e</sup> (1994)	89 ± 16	353 ± 40	65 ± 15	85 ± 9	270 ± 40	51 ± 9
1 <sup>re</sup> (1996)	100 ± 0	654 ± 90	66 ± 9	92 ± 4	458 ± 77	67 ± 4
Moyenne	95 ± 6	504 ± 151	66 ± 1	89 ± 4	364 ± 94	59 ± 8

Moyennes ± écart-types de 4 bouteilles (avec 4 mâles et 3 femelles), et de 4 cages (avec 35 mâles et 30 femelles).

1970). Ainsi Nwanze (1981) a testé plus de 200 variétés de sorgho et a observé que, seules trois présentaient des degrés d'infestation inférieurs à 70 %. La situation a peu évolué depuis, la coévolution des foreurs de tige typiquement africains (comme *B. fusca*) avec leurs plantes hôtes originaires d'Afrique (sorghos cultivés et sauvages) depuis des millions d'années rendant la situation complexe.

Par ailleurs, s'il est reconnu que la culture de variétés résistantes à *B. fusca* permettrait de sécuriser la production de sorgho au niveau de la région, le progrès dans le développement de telles variétés a été freiné par la non-disponibilité d'une technique d'élevage de l'insecte satisfaisante. Toutefois, près de 6 000 variétés de sorgho éthiopiens ont été évaluées sur des « points chauds » d'infestation de *B. fusca*, mais moins de 1 % se sont montrées résistantes à ce ravageur (Gebrekidan, 1985). Des criblages ont également été réalisés au Kenya et au Zimbabwe. Au Nigeria, 1 000 variétés de sorgho ont été évaluées à Samaru au début des années 70, sous infestation naturelle, et 26 se sont montrées résistantes. Au début des années 80, 122 entrées de l'Icrisat et de l'Institute of Agricultural Research ont également été criblées sous infestation artificielle (MacFarlane, 1990).

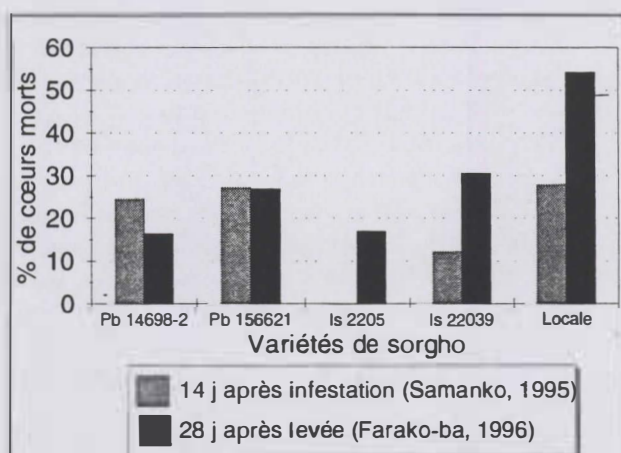
Plus récemment, Van den Berg *et al.*, (1994) ont évalué en Afrique du Sud la résistance de 60 variétés de sorgho, sous infestation artificielle de *B. fusca*, utilisant des larves issues d'adultes provenant eux-mêmes de larves diapauses, en utilisant la technique décrite par Van Rensburg et Van Rensburg (1993). Dix-sept pour cent des variétés ont présenté de la résistance par antibiose et tolérance.

En 1992, un premier criblage a été effectué à Samanko, sur sept entrées de la pépinière internationale pour la résistance du sorgho aux ravageurs des pousses, dont cinq s'étaient montrées résistantes en Inde à *C. partellus*, ainsi qu'un témoin sensible (Csh 1) et un témoin local (Csm 388). Les infestations artificielles ont été réalisées quatre semaines après la levée au moyen d'un applicateur « bazooka » calibré pour délivrer quatre à cinq larves néonates de *B. fusca* par pression. Les larves, issues d'un élevage au laboratoire sur morceaux de tiges de sorgho, étaient mélangées à de la semoule de maïs servant de

soutien. Le témoin sensible et le témoin local ont accusé plus de dégâts foliaires dûs aux foreurs et de cœurs morts que les cinq autres entrées, Pb 14698-2 étant la lignée la plus résistante (Ratnadass *et al.*, 1993 ; Betbeder-Matibet *et al.*, 1993 ; Icrisat, 1993).

En 1995, un nouvel essai, comprenant quatre entrées s'étant montrées résistantes à *C. partellus* en Inde et en Afrique australe, un témoin local a été conduit à Samanko, tandis qu'en 1996, on a évalué à Farakoba, avec un témoin local, ces cinq entrées auxquelles se sont ajoutées sept entrées figurant parmi les plus prometteuses de celles évaluées par Van den Berg *et al.*, (1994). Sur les deux stations, le témoin local tenait également lieu de témoin sensible. A Samanko, l'infestation artificielle était réalisée à partir de larves issues de l'élevage de masse sur milieu artificiel. Les résultats obtenus sur les quatre entrées communes et les témoins sont donnés en figures 4 et 5.

Les niveaux d'attaques obtenus avec l'infestation naturelle à Farakoba étaient équivalents à ceux de l'infestation artificielle à Samanko. Les niveaux d'infestation étaient généralement plus élevés chez les variétés locales (Traoré, 1995 ; Ratnadass *et al.*, 1996 ; Sidibé, 1997). A Samanko, Is 2205 a été la variété la plus résistante, avec une note visuelle de dégâts foliaires de 1 (sur une échelle de 1 à 9) et un pourcentage de cœurs morts de 0 % (2 semaines après infestation), comparé à respectivement 7,7 et 28 % sur Csm 388.



**Figure 4.** Comportement de six variétés de sorgho par rapport aux attaques précoces de foreurs.



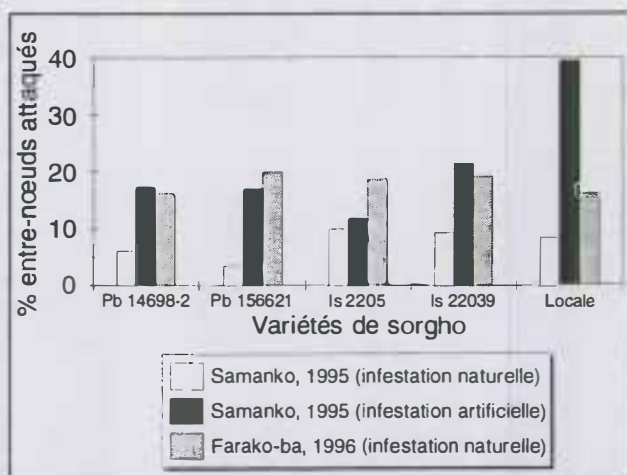


Figure 5. Comportement de six variétés de sorgho par rapport aux attaques de foreurs sur entre-nœuds.

A Farako-ba, la variété la plus intéressante a été Pb 14698-2. Sur les deux sites, c'est le témoin local qui a été le plus attaqué. Néanmoins, avec 28 à 54 % de cœurs morts et 8 à 88 % de tiges attaquées selon les sites, ce sont ces mêmes variétés locales qui ont eu les meilleurs rendements. En effet, à Samanko, la Csm 388 a produit 2 t/ha de grain avec protection insecticide, et 1,5 et 1,2 t/ha (respectivement sous infestation naturelle et artificielle) sans protection, comparé à moins de 0,6 t/ha pour toutes les autres variétés, même avec protection insecticide.

## Influence des pratiques culturales sur l'importance des attaques

L'action de l'homme s'exerce à travers les pratiques agricoles, c'est-à-dire, outre la date de semis et la variété cultivée, déjà abordées plus haut, sa densité, les doses de fumure, les associations de culture, etc. L'influence de ces pratiques culturales a été évaluée à travers deux essais sur la station de Farako-ba, de 1990 à 1994. Ils ont porté sur les densités et les doses de fumure, d'une part, et sur l'association du sorgho avec le niébé, d'autre part.

La première étude comportait trois doses de fumure: 100, 200 et 300 kg/ha, trois densités de semis (espacement entre les poquets sur la ligne de semis de 6, 10, 20, 30, 40, 50 et 60 cm). Les observations ont porté sur les pourcentages d'entre-nœuds attaqués, à 60 et 90 Jal, et à la récolte. Les résultats sont présentés dans le tableau V. Ils mettent en évidence un niveau d'attaque très faible sur l'ensemble de la période. Aucune différence significative n'a été mise en évidence ni entre doses de fumure ni entre densités de semis.

Dans la seconde étude, deux facteurs ont été considérés, à savoir la date de semis (deux par an) et le niveau d'association du sorgho avec le niébé (1 = sorgho pur ; 2 = 80 % sorgho ; 3 = 60 % ; 4 = 40 % ; et 5 = 20 % de sorgho). Les résultats sont présentés dans le tableau VI. A l'analyse de variance, il n'apparaît pas de différences significatives entre dates de semis ni niveaux d'association sorgho-niébé. Des interactions significatives entre les différents facteurs ont été surtout observées par rapport à l'année, ce qui dénote une grande influence des facteurs climatiques sur les populations d'insectes, les cultures et par conséquent sur les attaques.

Toutefois, une corrélation négative significative ( $P = 0,05$ ) est observée entre le pourcentage de sorgho dans l'association sorgho-niébé ( $x$ ) et le pourcentage moyen d'entre-nœuds attaqués ( $y$ ) (tous stades phénologiques confondus), l'équation  $y = 0,016x + 2,20$  expliquant 89 % de la variance globale.

## Perspectives de gestion intégrée des foreurs de tige et orientations de recherches futures

Les principaux résultats obtenus au cours de ces études menées au Mali et Burkina Faso apportent des informations appréciables sur les foreurs des tiges, principalement *B. fusca*, en ce qui concerne leur bioécologie, les relations plantes hôtes-ravageur, et permettent de dégager des perspectives de lutte intégrée et des orientations de recherche.

## Résistance variétale

Tout d'abord, la maîtrise de l'élevage de masse au laboratoire permet d'établir un programme de criblage variétal, mais aussi d'envisager d'autres études. Ainsi, en station, une évaluation des pertes de rendement grâce aux techniques de l'infestation artificielle devrait être menée, afin de situer de façon objective les pertes en rendement en fonction des stades phénologiques et des niveaux d'infestation. Elle permet d'effectuer des études sur la toxicité de diverses substances, aspect qui n'a pas été abordé ici (Mengual, 1994 ; Ratnadass *et al.*, sous presse) ou de servir de point de départ à une éventuelle lutte biologique, par la technique d'exposition d'hôte.

On doit poursuivre également les travaux sur l'identification des sources de résistance sous infestation naturelle (Farako-ba) et sous infestation artificielle (Samanko). Dans un premier temps, on pourra cribler pour la résistance à *B. fusca* des variétés qui se sont

**Tableau V.** Effet de la fumure et de la densité de semis sur l'attaque du sorgho (cv. Gnofing) par les foreurs des tiges (Farako-ba, Burkina Faso, 1990-1994).

Densité	Entre-nœuds attaqués 60 Jal (%)				Entre-nœuds attaqués 90 Jal (%)				% Entre-nœuds attaqués moyen
	Fumure (kg/ha)				Fumure (kg/ha)				
	100	200	300	Moyenne	100	200	300	Moyenne	
10	0,15 (0,01)	0,06 (0,01)	0,30 (0,02)	0,17 (0,01)	1,34 (0,09)	1,83 (0,10)	1,55 (0,09)	1,57 (0,09)	0,87 (0,05)
20	0,15 (0,01)	0,37 (0,02)	0,23 (0,02)	0,25 (0,02)	0,81 (0,05)	0,92 (0,06)	1,91 (0,11)	1,21 (0,07)	0,74 (0,04)
30	0,36 (0,03)	0,07 (0,01)	0,39 (0,02)	0,27 (0,02)	1,04 (0,07)	0,50 (0,04)	1,16 (0,09)	0,90 (0,07)	0,59 (0,04)
40	0,06 (0,01)	0,38 (0,03)	0,12 (0,01)	0,19 (0,02)	0,69 (0,05)	1,09 (0,06)	1,26 (0,08)	1,01 (0,06)	0,60 (0,04)
50	0,07 (0,01)	0,05 (0,01)	0,13 (0,01)	0,08 (0,01)	0,26 (0,02)	0,51 (0,03)	1,70 (0,11)	0,82 (0,05)	0,46 (0,03)
60	0,17 (0,01)	0,26 (0,02)	0,12 (0,01)	0,69 (0,01)	1,28 (0,09)	1,13 (0,09)	0,80 (0,05)	1,07 (0,08)	0,88 (0,05)
Moyenne	0,16 (0,01)	0,20 (0,02)	0,22 (0,02)	0,20 (0,02b)	0,90 (0,06)	1,00 (0,06)	1,40 (0,09)	1,10 (0,07a)	0,69 (0,04)
Test					Interaction				
Effet fumure : significatif au seuil de 5 %					Fumure x densité : significatif au seuil de 1 %				
Effet densité : non significatif au seuil de 5 %					Année x fumure : significatif au seuil de 1 %				
					Année x densité : non significatif au seuil de 5 %				
					Etr ± 0,060				

Analyse combinée de cinq années. Dispositifs en blocs aléatoires avec parcelles divisées (split-plots), quatre répétitions. Les variables ont été analysées après transformation arc sinus racine carrée. Les valeurs entre parenthèses sont les valeurs transformées. Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas différentes au seuil de 5 % par la méthode de Newman-Keuls.

**Tableau VI.** Effet de la date de semis (DS) et de l'association avec le niébé sur l'attaque du sorgho (cv. Gnofing) par les foreurs des tiges (Farako-ba, Burkina Faso) 1990-1994).

Niveau d'association	% Entre-nœuds attaqués (60 Jal) Date de semis			% Entre-nœuds attaqués (90 JAL) Date de semis			% Entre-nœuds attaqués (récolte) Date de semis			% Entre-nœuds attaqués moyen
	Date de semis			Date de semis			Date de semis			
	DS1	DS2	Moyenne	DS1	DS2	Moyenne	DS1	DS2	Moyenne	
1	1,16 (0,05)	0,07 (0,01)	0,62 (0,03)	3,60 (0,14)	4,84 (0,19)	4,22 (0,17)	7,99 (0,24)	4,57 (0,17)	6,28 (0,20)	3,7 (0,13a)
2	0,45 (0,03)	0,15 (0,01)	0,30 (0,02)	1,90 (0,11)	3,83 (0,17)	2,87 (0,14)	7,10 (0,24)	7,31 (0,22)	7,21 (0,23)	3,5 (0,13a)
3	0,69 (0,02)	0,21 (0,02)	0,45 (0,02)	1,42 (0,08)	5,84 (0,21)	3,63 (0,15)	6,03 (0,22)	4,85 (0,19)	5,44 (0,21)	3,2 (0,12a)
4	0,90 (0,04)	0,14 (0,01)	0,52 (0,03)	1,96 (0,09)	4,44 (0,17)	3,20 (0,13)	6,88 (0,23)	4,15 (0,16)	5,52 (0,20)	3,1 (0,11a)
5	0,24 (0,01)	0,07(0,01)	0,16 (0,01)	0,80 (0,05)	3,85 (0,15)	2,33 (0,10)	4,92 (0,19)	3,86 (0,15)	4,39 (0,17)	2,3 (0,09a)
Moyenne	0,69 (0,03)	0,13 (0,01)	0,40 (0,02c)	1,94 (0,09)	4,56 (0,18)	3,30 (0,13b)	6,58 (0,22)	4,95 (0,18)	5,77 (0,20a)	3,2 (0,12)
Test						Interaction				
Effet date de semis : non significatif au seuil de 5 %						Date de semis x niveau d'association : non significatif au seuil de 5 %				
Effet niveau d'association : significatif au seuil de 5 %						Année x date de semis : significatif au seuil de 0,1 %				
						Année x niveau d'association : non significatif au seuil de 5 %				
						Etr ± 0,094				

Analyse combinée de cinq années. Dispositifs en blocs aléatoires avec parcelles divisées (split-plots), trois répétitions. Niveaux d'association : 1 = 100 % sorgho/0 % niébé ; 2 = 80 % sorgho/20 % niébé ; 3 = 60 % sorgho/40 % niébé ; 5 = 20 % sorgho/80 % niébé. Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas différentes au seuil de 5 % par la méthode de Newman-Keuls.

montrées résistantes à *C. partellus*, du fait de la biologie voisine des deux espèces. Par rapport à la biologie et au comportement des larves, on devrait accorder une attention particulière aux facteurs qui déterminent l'établissement des jeunes larves sur le sorgho, et dont l'importance a été montrée dans le cas de *C. partellus* (Taneja et Woodhead, 1987).  
Après identification des sources de résistance stables et de haut niveau et après l'obtention des informations sur les mécanismes impliqués, des études sur la génétique de ces résistances pourront être menées, et une cartographie moléculaire des gènes responsables

pourra même être envisagée, dans le souci d'augmenter l'efficacité des programmes de sélection de la région.

**Portée des études sur la diapause larvaire**

Nos études sur la diapause de *B. fusca* et les conditions de sa rupture confirment clairement les observations réalisées sous d'autres latitudes par d'autres



auteurs du continent (Usua, 1970 ; Adesiyun, 1983 ; Unnithan et Reddy, 1989 ; Okuda, 1990). Une période de développement de la diapause semble être indispensable. Elles confirment aussi celles menées au Kenya (Okuda, 1990) et en Afrique du Sud (Kfir, 1993 ; Barrow, 1989 ; Van Rensburg et Van Rensburg, 1993), qui ont montré que par arrosage des larves diapauses, il était possible de déclencher de façon synchronisée leur nymphose, avec plusieurs semaines d'avance par rapport aux populations naturelles.

A cet égard, le mois de mars pourrait correspondre à une période critique à Samanko. Si l'on se réfère à la figure 3, il se situe environ 4 mois après l'entrée en diapause des larves (octobre-novembre de l'année précédente). Cette période est vraisemblablement nécessaire au « développement » de la diapause, au terme duquel les larves deviennent sensibles à des facteurs accélérant cette rupture, comme l'exposition à l'eau liquide.

En revanche, les résultats des expérimentations menées à Farako-ba et à Samanko, ne permettent pas de conclure quant au facteur de rupture de la diapause, en l'absence de contact avec de l'eau liquide. Ainsi, si les résultats de l'essai de Farako-ba suggèrent que c'est l'augmentation de l'humidité relative de l'air ambiant qui est importante (cette condition étant obtenue à partir du mois d'avril, avec les premières pluies), ceux de Samanko suggèrent qu'en conditions de forte humidité, la rupture de la diapause dépendrait d'une « horloge interne ». En effet, on note que au cours des deux années d'étude à Samanko, les premiers vols de *B. fusca* ayant été observés mi-juin, la rupture de diapause et la nymphose des populations sauvages, exposées aux premières pluies, avait dû intervenir à la même époque que celle des larves soumises au régime « sec » au laboratoire.

Une application pratique en est la production de masse de l'insecte. Ainsi, des larves diapauses pourraient être stockées dans de la moëlle de tiges de sorgho au laboratoire (photopériode 12h-12h, T 25 °C, Hr de 85 %). Elles seraient arrosées à partir de fin avril pour obtenir des nymphoses groupées dans un délai de moins de trois semaines. Ceci constituerait un moyen efficace et économique pour relancer un élevage de masse. En effet, les performances reproductives, mesurées en 1996, sur des adultes issus de larves diapauses s'étant nymphosées suite à l'arrosage quotidien, étaient très satisfaisantes (taux de fécondation de  $67 \pm 24$  % ;  $409 \pm 17$  œufs pondus par femelle fécondée ; taux d'éclosion de  $89 \pm 6$  %).

En matière de lutte, les études sur la diapause ont montré également que les résidus de récolte, notamment les tiges constituaient la source principale assurant la survie des populations au cours de la mauvaise saison. La gestion des ces résidus est donc

primordiale (Adesiyun et Ajayi, 1980). Ainsi, des études sur les possibilités d'une gestion rationnelle des résidus de récolte par les paysans, devraient être menées.

## Piégeage phéromonal

Le piégeage sexuel des mâles de *B. fusca* a permis de situer les périodes de pullulation maximale au cours de la campagne humide ; celles-ci sont situées entre septembre et octobre. Il a permis également de mettre en évidence deux générations au cours de l'année sur les deux sites d'étude. Cet outil peut être utilisé dans un programme d'alerte précoce, dans la lutte par confusion sexuelle ou le criblage variétal sous infestation naturelle car permettant de faire coïncider les stades sensibles et les périodes de pullulation maximale de l'insecte.

Les facteurs responsables des fluctuations des populations d'une année à l'autre sont étroitement liés aux conditions abiotiques (climatiques) et aux facteurs biotiques (action de l'homme, disponibilité en plantes hôtes cultivées ou sauvages, ennemis naturels). Ainsi les observations réalisées sur l'importance des populations et des attaques sont liées étroitement à l'année. Les deux dernières, 1995 et 1996, ont été les plus favorables à l'explosion des foreurs de tiges à Farako-ba ; ceci est vraisemblablement à lier aux conditions de pluviométrie exceptionnelles qui ont prévalu.

## Effet des pratiques culturales

L'action de l'homme à travers les pratiques culturales liées aux dates et aux densités de semis, aux doses de fumure et aux associations culturales semble jouer un rôle secondaire dans la réduction des attaques des foreurs de tiges, même si certains auteurs ont rapporté l'effet inverse (Gahukar, 1992 ; Elemo et Ajayi, 1989 ; Ajayi et Labe, 1990). En effet, cette influence est variable en fonction des saisons, des localités et des conditions climatiques (Harris et Nwanze, 1992 ; Youm *et al.*, 1996b).

Un facteur observé dans l'importance des attaques est constitué par les stades phénologiques. Ainsi, en dehors des dates de semis tardives où l'on peut enregistrer de fortes attaques au stades végétatifs de la plante, les fortes attaques sont surtout observées à partir de 60-75 jours après levée, correspondant aux attaques de la deuxième génération de *B. fusca* intervenant sur des plantes déjà âgées.



## Action des ennemis naturels

L'action des ennemis naturels a été peu abordée au cours de ces études en raison du faible niveau de parasitisme naturel observé dans les dissections. Ceci est en accord avec les observations de plusieurs auteurs (Youm, 1990 ; Ajayi *et al.*, 1996) selon lesquelles le parasitisme naturel est inférieur à 1 %. Ainsi, à Samanko, les seuls parasites identifiés sur *S. calamistis* et *B. fusca* ont été *Pediobius fuscus* Gahan (Hymenoptera, Eulophidae) et un nématode Mermithidae. Les études les plus extensives sur les ennemis naturels des foreurs de tige ont été réalisées en Afrique de l'Est et du Sud (Mohyuddin et Greathead, 1970) où les niveaux d'infestation sont plus élevés (parfois jusqu'à 100 %) sans pourtant affecter de manière significative les populations (Kfir et Bell, 1993).

En tirant parti de l'élevage de masse de *B. fusca*, la technique d'exposition d'hôte (Youm *et al.*, 1990) permettrait de mieux apprécier l'impact réel des parasitoïdes indigènes, et les perspectives réelles d'utilisation de la lutte biologique dans le contrôle des foreurs de tiges. Toutefois, les espèces de foreurs sévissant dans la région étant africaines, les perspectives d'une lutte biologique par introduction sont limitées. Il en est d'ailleurs de même, bien que dans une moindre mesure, de la lutte biologique par augmentation, le sorgho étant cultivé dans la région en petites parcelles éparpillées. Egalement, les prédateurs et les microorganismes pathogènes (champignons, bactéries et virus) dont l'impact est très mal connu (Harris et Nwanze, 1992), devraient faire l'objet de davantage d'études. Les ennemis naturels pouvant se conserver sur l'hôte au cours de la saison sèche, leur étude pendant cette période mériterait une attention particulière.

Enfin, on ne devrait pas non plus négliger les études sur l'importance économique des foreurs de tiges en milieu réel, sur la perception des paysans du problème des attaques de foreurs de tige, et sur les méthodes traditionnelles de protection.

**Remerciements** — Les auteurs remercient pour leur participation à la conduite des expérimentations MM. Y. Traoré, J. Sanou et M. Sidibé à la station de l'Inera à Farako-ba, ainsi que MM. B. Cissé, D. Diarra, C.A.T. Thiéro, T. Traoré, S.L. Taneja, M. Sylla, H. Maïga, A. Balobo, D. Doumbia, N. Kamissoko à la station de l'Icrisat-Cirad à Samanko, et A. Hamadoun aux stations de l'Ier à Kogoni et Niono. Les phéromones de *C. ignefusalis* et pièges en assiettes d'aluminium ont été fournies par O. Youm (Icrisat, Niger), et les phéromones de *S. calamistis* par P. Zagatti (Inra, France). Les semences des variétés résistantes aux foreurs ont été fournies par MM. S.L. Taneja (Icrisat, Inde), J. van den Berg et W. Wenzel (Agricultural Research Council, Afrique du Sud). La plupart des insectes de Samanko ont été identifiés par MM. G. Delvare et H.P.

de Samanko ont été identifiés par MM. G. Delvare et H.P. Aberlenc (Cirad, France).

## Références bibliographiques

- ADESIYUN A.A., 1983. Some effects of intercropping of sorghum, millet and maize on infestation by lepidopterous stalk borers, particularly *Busseola fusca*. *Insect Science and its Application* 4 : 387-391.
- ADESIYUN A.A., AJAYI O., 1980. Control of the sorghum stem borer, *Busseola fusca*, by partial burning of the stalks. *Tropical Pest Management* 26 : 113-117.
- AJAYI O., LABE D.A., 1990. The effects of sowing date and planting method on stem borer damage in dauro millet. *Annals of Applied Biology* 117 : 487-494.
- AJAYI O., TABO R., ALI D., 1996. Incidence of stem borers on postrainy-season transplanted sorghum in Cameroon, Nigeria, and Chad in 1995/96. *International Sorghum and Millets Newsletter* 37 : 58-59.
- APPERT J., DEUSE J., 1982. Les ravageurs des cultures vivrières et maraîchères sous les tropiques. *Techniques Agricoles et Protection Tropicale*. Paris, France, Maisonneuve et Larose, 413 p.
- BARROW M.R., 1989. Screening and breeding for resistance to *Busseola fusca*. *In* Toward insect resistant maize for the third world. *Proceedings of the International Symposium on Methodologies for Developing Host Plant Resistance to Maize Insects*, 9-14 mars 1987, Mexico, Mexique. Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo, p. 184-191.
- BETBEDER-MATIBET M., 1989. Biological control of sorghum stem borers. *In* International Workshop on Sorghum Stem Borers, 17-20 November 1987, Icrisat Center, India (NWANZE K.F., ed.). Patancheru, Inde, Icrisat, p. 89-93.
- BETBEDER-MATIBET M., GOEBEL R., RATNADASS A., 1993. Lutte intégrée contre les foreurs des céréales tropicales : évaluation de la résistance variétale aux ravageurs. *In* Annales de la 3<sup>e</sup> conférence internationale sur les ravageurs en agriculture (Cira), 7-9 décembre 1993, Montpellier, France. Paris, France, Association nationale de la protection des plantes, p. 1293-1301.
- BONZI S.M., 1982. *Chilo diffusilineus* J de Joannis (Lepidoptera, Pyralidae), borer des tiges des céréales irriguées et pluviales en Haute-Volta. *L'Agronomie Tropicale* 37 : 207-209.
- BOSQUE-PEREZ N.A., DABROWSKI Z.T., 1989. Distribution and species composition of lepidopterous maize borers in southern Nigeria. *Bulletin of Entomological Research* 80 : 363-368.

- BRENIERE J., 1971. Les problèmes des lépidoptères foreurs de graminées en Afrique de l'Ouest. *Annales de zoologie, écologie animale* 3 : 287-296.
- CISSE B., RATNADASS A., TRAORE Y., DAKOUO D., 1995. Piégeage phéromonal de *Busseola fusca* à Samanko (Mali) et Farako-ba (Burkina Faso). In Réunion de coordination phytosanitaire cultures annuelles-Afrique de l'Ouest, 20-24 février 1995, Bamako, Mali (GIRARDOT B., ed.). Montpellier, France, Cirad, p. 173-180.
- DAKOUO D., LANKOANDE A., 1992. Les lépidoptères foreurs de tige du sorgho : fluctuations saisonnières, importance économique et perspectives de lutte intégrée. *Sahel PV Info* 42 : 16-22.
- ELEMO K.A., AJAYI O., 1989. Effects of nitrogen on stem borer damage in sorghum/millet mixture. *Insect Science and its Application* 10 : 601-605.
- GAHUKAR R.T., 1992. Effect of various fertilizers and rates on insect pest/pearl millet relationship in Senegal. *Tropical Agriculture* 69 : 149-152.
- GEBREKIDAN B., 1985. Breeding sorghum for resistance to insects in eastern Africa. *Insect Science and its Application* 6 : 351-357.
- GIRLING D.J., 1980. *Eldana saccharina* as a crop pest in Ghana. *Tropical Pest Management* 26 : 152-156.
- HAMADOUN A., 1992. Evolution naturelle des populations de *Sesamia calamistis* Hampson (Lepidoptera Noctuidae) au Mali. *Nuisibles-Pests-Pragas* 1 : 28-41.
- HARRIS K.M., 1962. Lepidopterous stem borers of cereals in Nigeria. *Bulletin of Entomological Research* 53 : 1-32.
- HARRIS K.M., 1985. Lepidopterous stem borers of sorghum. In *Proceedings of the International Sorghum Entomology Workshop*, 15-21 July 1984, Texas A & M University, College Station, Texas, Etats-Unis (LEUSCHNER K., TEETES G.L., eds). Patancheru, Inde, Icrisat, p. 161-167.
- HARRIS K.M., 1989. Bioecology of sorghum stem borers. In *International Workshop on Stem borers*, 17-20 novembre 1987, Icrisat Center, Inde (NWANZE K.F., ed.). Patancheru, Inde, Icrisat, p. 63-71.
- HARRIS K.M., NWANZE K.F., 1992. *Busseola fusca* (Fuller), the African Maize Stalk Borer: a handbook of information. *Information Bulletin* n° 33. Patancheru, Inde, Icrisat & Wallingford, UK, Cab International, 92 p.
- HILL D., 1972. *Agricultural insect pests of the Tropics and their control*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 441 p.
- ICRISAT Centre sahélien, 1993. Programmes ouest-africains de l'Icrisat, Rapport annuel 1992. Niamey, Niger, Centre sahélien de l'Icrisat, 62 p.
- KAMBIRE S.S., 1984. Résistance variétale du sorgho vis-à-vis de la mouche des pousses *Atherigona soccata* (Diptère Muscidae). Rapport de stage, Collège agricole polyvalent de Matourkou. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 26 p.
- KFIR R., 1993. Diapause termination in *Busseola fusca* (Lepidoptera : Noctuidae) in the laboratory. *Annals of the Entomological Society of America* 86 : 273-277.
- KFIR R., BELL R., 1993. Intraseasonal changes in populations of the African maize stem borer *Busseola fusca* (Fuller) (Lepidoptera : Noctuidae) and its parasitoids in Natal, South Africa. *Journal of African Zoology* 107 : 543-553.
- LANKOANDE A., 1989. Les lépidoptères foreurs de tiges des céréales (sorgho, mil, maïs), fluctuations saisonnières, importance économique et possibilités de lutte. Mémoire de fin d'études, Institut de développement rural. Ouagadougou, Burkina Faso, Idr, 58 p.
- LEUSCHNER K., MIHM J.H., 1994. Development of an artificial rearing method for *Busseola fusca*. In *Annual Report, Southern and Eastern Africa Regional Program*, Icrisat, 1993. Bulawayo, Zimbabwe, Icrisat/Sadc, p. 6-7.
- MacFARLANE J.H., 1990. Damage assessment and yield losses in sorghum due to the stem borer *Busseola fusca* (Fuller) (Lepidoptera : Noctuidae) in northern Nigeria. *Tropical Pest Management* 36 : 131-137.
- MAIGA H.M., 1993. Inventaire systématique des insectes associés à une réserve d'entomofaune, dynamique des populations de lépidoptères foreurs de tiges du sorgho et piégeage sexuel de *Busseola fusca*. Mémoire de fin d'études, Institut polytechnique rural de Katibougou. Koulikoro, Mali, Ipr, 22 p.
- MENGUAL L., 1994. L'insecticide pourghère : extraction de substances bioactives de l'huile de pourghère (*Jatropha curcas* L.) et bioessais sur *Zonocerus variegatus*, *Sesamia calamistis* et *Busseola fusca* pour la caractérisation d'un effet insecticide en zone sahélienne. Mémoire de fin d'études, Ecole supérieure d'agriculture d'Angers, Angers, France, Esaa, 65 p.
- MENGUAL L., RATNADASS A., CISSE B., DIARRA D., 1996. Insecticide effects of *Jatropha curcas* oil extract on *Sesamia calamistis* and *Busseola fusca*. In *Icrisat and Collaborative Programs Western and Central Africa Region Annual Report 1994*. Niamey, Niger, Icrisat Sahelian Center, p. 137-138.
- MOHYUDDIN A.I., GREATHEAD D.J., 1970. An annotated list of the parasites of graminaceous stem borers in East Africa, with a discussion of their potential in biological control. *Entomophaga* 15 : 241-274.
- NWANZE K.F., 1981. Annual Report 1980. Section F: Entomology: Icrisat Upper Volta Cooperative Program, Ouagadougou, Burkina Faso, 39 p. (document interne).



- NWANZE K.F., 1985. Sorghum insect pests in West Africa. *In* Proceedings of the International Sorghum Entomology Workshop, 15-21 July 1984, Texas A & M University, College Station, Texas, Etats-Unis (LEUSCHNER K., TEETES G.L., eds). Patancheru, Inde, Icrisat, p. 37-43.
- NWANZE K.F., 1988. Distribution and seasonal incidence of some major insect pests of sorghum in Burkina Faso. *Insect Science and its Application* 9 (3) : 313-321.
- NWANZE K.F., 1989. Insect pests of pearl millet in sahelian West Africa. I. *Acigona ignefusalis* (Pyralidae, Lepidoptera) : distribution, population dynamics and assessment of crop damage. *Tropical Pest Management* 35 : 137-142.
- OKUDA T., 1988. Effect of artificial wetting and rainfall on the larval diapause of a stem borer, *Busseola fusca* in western Kenya. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 48 : 263-267.
- OKUDA T., 1990. Significance of water contact as a factor terminating larval diapause in a stem borer, *Busseola fusca*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 57 : 151-155.
- ONYANGO F.O., OCHIENG'-ODERO J.P.R., 1994. Continuous rearing of the maize stem borer on artificial diet. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 73 : 139-144.
- RATNADASS A., CISSE B., LUCE C., DIARRA D., THIERO C.A.T., 1993. Etudes récentes sur la résistance variétale du sorgho à trois de ses principaux ravageurs en Afrique de l'Ouest. Réunion de coordination des recherches phytosanitaires pour la sous-région Afrique de l'Ouest, 26-28 janvier 1993, Cotonou, Bénin (VAISSAYRE M., ed.). Montpellier, France, Cirad, p. 127-141.
- RATNADASS A., DIARRA D., CISSE B., TANEJA S.L., 1995a. Mise au point d'une technique d'élevage permanent de *Busseola fusca* sur milieu nutritif artificiel au laboratoire. Réunion de coordination phytosanitaire cultures annuelles-Afrique de l'Ouest, 20-24 février 1995, Bamako, Mali (GIRARDOT B., ed.). Montpellier, France, Cirad, p. 161-171.
- RATNADASS A., DIARRA D., CISSE B., TANEJA S.L., 1995b. Development of a cost-effective laboratory technique for continuous mass rearing of *Busseola fusca* on a meridic diet. *International Sorghum and Millets Newsletter* 36 : 79-81.
- RATNADASS A., CISSE B., DAKOUO D., TRAORE Y., 1996a. *Busseola fusca* pheromone traps. *In* Icrisat and Collaborative Programs Western and Central Africa Region. Annual Report 1994. Niamey, Niger, Icrisat Sahelian Center, p. 138.
- RATNADASS A., DIARRA D., CISSE B., TANEJA S.L., 1996b. Development of a mass rearing technique of *Busseola fusca* on an artificial diet. Annual Report 1994. Icrisat and Collaborative Programs Western and Central Africa Region. Niamey, Niger, Icrisat Sahelian Center, p. 137.
- RATNADASS A., CISSE B., DIARRA D., MENGUAL L., TANEJA S.L., THIERO C.A.T., (sous presse). Perspectives de gestion biointensive des foreurs des tiges de sorgho en Afrique de l'Ouest. *Insect Science and its Application*.
- SESHU REDDY K.V., 1989. Sorghum stem borers in eastern Africa. *In* International Workshop on Stem borers, 17-20 novembre 1987, Icrisat Center, Inde. Patancheru, Inde, Icrisat, p. 33-40.
- SIDIBE M., 1997. Etude de la dynamique de population des foreurs de tige du sorgho et d'une méthode de lutte, la résistance variétale. Rapport de fin d'études Centre agricole polyvalent de Matourkou, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 44 p.
- SYLLA M., 1995. Contribution à l'étude de la bioécologie des lépidoptères foreurs de tiges du sorgho au Mali. Mémoire de fin d'études, Institut polytechnique rural de Katibougou. Koulikoro, Mali, Ipr, 34 p.
- TANEJA S.L., LEUSCHNER K., 1985. Methods of rearing, infestation, and evaluation for *Chilo partellus* resistance in sorghum. *In* Proceedings of the International Sorghum Entomology Workshop, 15-21 juillet 1984, Texas A & M University, College Station, Texas, Etats-Unis (LEUSCHNER K., TEETES G.L., eds), Icrisat, Patancheru, Inde, p. 175-188.
- TANEJA S.L., WOODHEAD S., 1989. Mechanisms of stem borer resistance in sorghum. *In* International Workshop on Sorghum Stem Borers, 17-20 novembre 1987, Icrisat Center, Inde (NWANZE K.F. ed.). Patancheru, Inde, Icrisat, p. 137-143.
- TRAORE T., 1995. Elevage en masse de *Busseola fusca* (Fuller) (Lépidoptère : Noctuidae), infestation artificielle et criblage variétal du sorgho pour la résistance à ce foreur des tiges. Mémoire de fin d'études, Institut polytechnique rural de Katibougou. Koulikoro, Mali, Ipr, 33 p.
- UNNITHAN G.C., 1987. Development and reproductive biology of the maize stem-borer *Busseola fusca* Fuller (Lepid., Noctuidae). *Journal of Applied Entomology* 104 : 172-179.
- UNNITHAN G.C., REDDY K.V.S., 1989. Incidence, diapause and carry over of the cereal stem borers on Rusinga Island, Kenya. *Tropical Pest Management* 35 : 414-419.
- USUA E.J., 1970. Diapause in the maize stem borer. *Journal of Economic Entomology* 63 : 1605-1610.
- VAN DEN BERG J., WENZEL W.G., VAN DER WESTHUIZEN M.C., 1994. Tolerance and recovery resistance of grain sorghum genotypes artificially infested with *Busseola fusca* (Fuller) (Lepidoptera: Noctuidae). *Insect Science and its Application* 15 : 61-65.



VAN RENSBURG J.B.J., VAN RENSBURG G.D.J., 1993. Laboratory production of *Busseola fusca* (Fuller) (Lepidoptera: Noctuidae) and techniques for the detection of resistance in maize plants. *African Entomology* 1 : 25-28.

WALKER P.T., 1960. The relation between infestation by the stalk borer *Busseola fusca*, and yield of maize in East Africa. *Annals of Applied Biology* 48 : 780-786.

YOUM O., 1990. Evaluation of natural enemies associated with the millet stalk borer *Haimbachia ignefusalis* (Hampson) (Lepidoptera : Pyralidae) in Niger. Ph.D. thesis, Texas A & M University, College Station, Texas, Etats-Unis, 145 p.

YOUM O., BEEVOR P., 1995. Field evaluation of pheromone-baited traps for *Coniesta ignefusalis* (Lepidoptera : Pyralidae) in Niger. *Journal of Economic Entomology* 88 : 65-69.

YOUM O., GAMBY K.T., RATNADASS A., DAKOUO D., CHAIBOU I.M., BALDE M., GWADI W.K., TANZUBIL P.B., DARBOE M., AJAYI O., DIKE M.C., YEHOUENOU A. 1996b. Regional stem borer monitoring network and trap efficiency assessment. In Icrisat 1996. Icrisat and Collaborative programs western and Central Africa Region Annual Report 1995. Niamey, Niger, Centre sahélien de l'Icrisat, p. 89-91.

YOUM O., GILSTRAP F.E., BROWNING H.W., 1990. Parasitism of stem borers (Lepidoptera: Pyralidae) associated with corn and sorghum in the Lower Rio Grande Valley of Texas. *Journal of Economic Entomology* 83 : 84-88.

YOUM O., HARRIS K.M., NWANZE K.F., 1996a. *Coniesta ignefusalis*: A Handbook of information. Information Bulletin n° 46. Patancheru, Inde, Icrisat, 60 p.

# Bioecology of the panicle-feeding bug *Eurystylus oldi* Poppius (Heteroptera: Miridae), a key pest of sorghum in Mali

A. RATNADASS, B. Cisse

Icrisat-Cirad, BP 320, Bamako, Mali

D. BUTLER

Icrisat Asia Center, Patancheru, 502 324 AP, India

New address: Cocoa Research Unit, University of the West Indies, St Augustine, Trinidad & Tobago

**Abstract** — Panicle-feeding mirid bugs, particularly *Eurystylus oldi* Poppius have recently become major pests of sorghum in West and Central Africa. Detailed studies on the bioecology and population dynamics of this species were conducted in 1991-1996 in Mali. In particular these studies have shown several significant correlations ( $P < 0.001$ ) between the peak head bug number and weather variables. Castor (*Ricinus communis* L. Euphorbiaceae) was the only indigenous plant species found to harbor eggs and nymphs of *E. oldi* in the Samanko area, including during the dry season. Further laboratory studies demonstrated the ability of adult insects originating from nymphs bred from sorghum to oviposit on castor, and that of nymphs to develop equally well on castor and sorghum. Several potential predators of head bugs were collected on sorghum panicles, of which three species of assassin bugs (Heteroptera: Reduviidae) were actually observed feeding on *E. oldi* nymphs. Information on weak links in the bioecology of the pest, derived from these findings, including its interactions with the cultivated host plant, alternate hosts, natural enemies, environmental factors, is discussed, in view of developing effective control strategies. Other research areas that need to be investigated are proposed. These include a regional study of weather/head bug/grain mold interaction, and detailed on-farm head bug studies.

**Résumé** — Bioécologie de la punaise des panicules *Eurystylus oldi* Poppius (Heteroptera: Miridae), un ravageur-clé du sorgho au Mali. Les punaises mirides des panicules, particulièrement *Eurystylus oldi* Poppius, sont récemment devenues des ravageurs-clés du sorgho en Afrique de l'Ouest et du Centre. Des études détaillées sur la bioécologie de l'espèce et la dynamique des populations ont été conduites de 1991 à 1996 au Mali. Les résultats de ces recherches ont permis, entre autres, d'établir plusieurs corrélations significatives ( $P < 0,001$ ) entre les nombres maximaux de punaises et les paramètres climatiques. Parmi toutes les plantes sauvages examinées, seul le ricin (*Ricinus communis* L.-Euphorbiaceae) abrite des œufs et des larves de *E. oldi* dans la région de Samanko, y compris

durant une partie de la saison sèche. D'autres études de laboratoire ont montré que des adultes issus de larves élevées sur sorgho pouvaient pondre sur ricin, et que les larves issues de ces œufs se développaient aussi bien sur le ricin que sur le sorgho. Plusieurs prédateurs potentiels des punaises ont été rencontrés sur panicules de sorgho, dont trois espèces de réduves se nourrissant sur des larves de *E. oldi*. Les informations sur les points faibles dans la bioécologie du ravageur fournies par ces recherches, les interactions avec la plante hôte cultivée, les hôtes alternatifs, les ennemis naturels, les facteurs environnementaux sont discutés, en vue de développer des stratégies de lutte efficaces. D'autres domaines de recherche sont proposés, notamment une étude régionale sur les interactions entre climat, punaises et moisissures des grains, et des études détaillées sur l'incidence des punaises en milieu réel.

Panicle-feeding bugs, particularly species, have recently become major pests of sorghum in West and Central Africa, particularly in Mali (Ratnadass and Ajayi, 1995), where this cereal is the staple food crop. Feeding and oviposition of these mirids on maturing sorghum grains result in severe quantitative and qualitative losses, including higher grain mold incidence, particularly on improved compact-headed types (Doumbia and Bonzi, 1985; Steck *et al.*, 1989; Ratnadass *et al.*, 1994a; Ratnadass *et al.*, 1995a). The genus *Eurystylus* was recently revised by Stonedahl (1995), and it is now recognized that only one dominant species, namely *Eurystylus oldi* Poppius, is associated with sorghum in Africa.

Some information on *E. oldi* bioecology was available from earlier reports (MacFarlane, 1989; Steck *et al.*, 1989; Sharma, 1989; Doumbia, 1992; Doumbia and Teetes, 1994). However, in order to further improve our knowledge of this pest, in view of its

increasing importance, the present studies were conducted in 1991-1996 in Mali, as a prelude to its management. Information on weak links in the bioecology of an insect pest, including its interactions with the cultivated host plant, alternate hosts, natural enemies, environmental factors, is necessary for developing effective control strategies.

## Life history of *E. oldi*

Detailed studies on life history and immature stages of the sorghum head bug *E. oldi* were carried out in the laboratory of the Icrisat-Cirad research station at Samanko (08.07° N 12.32° W), Mali, under natural photoperiod and controlled temperature and relative humidity, from November 1991-March 1992 ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ;  $80 \pm 10\%$  r.h.) and from January-April 1993 ( $27 \pm 1^\circ\text{C}$  and  $67 \pm 10\%$  r.h.) (Ratnadass *et al.*, 1994b).

Insect cultures were started from adults and nymphs of *E. oldi*, collected at the end of the rainy season, from sorghum panicles in the fields of the station. Panicles at the milk stage of caudatum sorghum varieties, from rainy season or irrigated off-season plots, were used for these studies. These panicles had been protected from insect infestation with pollinating bags at the heading stage.

One pair of newly emerged adults was confined on fresh sorghum rachis with four to six sprigs, held in an upright position in a glass vial filled with water. This was held in a 1.25 l transparent plastic container with mesh-covered perforations to provide aeration. Sorghum rachis were changed daily, and observed under the microscope for egg counts and hatching records. Freshly emerged first instar nymphs were transferred individually in 0.25 l plastic containers where fresh sorghum sprigs, with the base wrapped in wet cotton wool covered with parafilm, were provided for feeding. Food was changed every second day; containers were observed daily, in order to record all molts.

In October 1993, further studies were conducted in the field at Samanko (mean temperature  $28.6^\circ\text{C}$ ; mean relative humidity 71.4%). One panicle of head bug susceptible sorghum cultivar ICSV 197, protected with a pollinating bag at the heading stage, was confined for one day with 20 days in its cage in the field, then cut and kept in an aerated plastic container in the laboratory; hatching was recorded daily, for a period of three days. Two protected panicles of the same cultivar were then caged 9 days after completion of anthesis with 14 first instar nymphs each. The panicles were cut 6 days later and kept in aerated plastic containers in the laboratory; adult emergence was recorded daily, for a period of 4

days. Laboratory conditions during these studies were:  $27 \pm 2^\circ\text{C}$ ;  $88 \pm 6\%$  r.h.; natural photoperiod.

Eggs were laid inside the maturing sorghum grains (then at the milk stage), on the part exposed outside the glumes; eggs were detectable by their protruding tip (*operculum*). The number of eggs laid in a single grain varied from 1 to 7. The egg incubation period was 4-7 days. Nymphs pushed the *operculum* to come out of the egg. There were five nymphal instars, and the total nymphal period was 6-11 days. The durations of first, second, third, fourth and fifth nymphal instars were 1-3, 1-2, 1-2, 1-3 and 1-3 days, respectively (Ratnadass *et al.*, 1994b).

In 1991, nymphal survival until adult was  $81 \pm 5\%$ . Sex ratio was 1:1. Pre-oviposition period was 2-3 days in 1992 and 1993. In 1992, maximum longevity observed for a mated female was 18 days, during which 181 live nymphs were produced. In 1993, mean adult longevity was  $13.5 \pm 7.3$  days for mated males (maximum 26 days), and  $7.6 \pm 3.5$  days for mated females (maximum 11 days). Mean number of live progeny for five mated females was  $80.4 \pm 56.3$  (Ratnadass *et al.*, 1995b).

## Population dynamics of *E. oldi* on sorghum

During the rainy seasons from 1992-1994, head bug population dynamics were studied at Samanko, on sorghum cultivar ICSV 197, sown on eight different dates (Dos) at weekly intervals, from mid-June to early August, in a randomized complete block design (Rcbd) with six replications per Dos. Twice a week, from flowering to grain maturity, three panicles per plot were sampled. Each head was first covered with a polythene bag and then excised at the peduncle. The bag and its content were kept in a deep freezer for at least one day to kill the insects, which were then sorted and counted in the laboratory (Ratnadass *et al.*, 1994c; Ratnadass *et al.*, 1995b).

*E. oldi* was the dominant mirid species during the study period. Counts of *E. oldi* generally rose and fell between 70 and 120 days after sowing (Das). On Dos 1 in 1992-1994, the first adults of *E. oldi* were observed in early September, towards the end of anthesis, and this colonization by first generation adults continued over a period of more than 2 weeks, the level of infestation remaining low (less than 10 per panicle).

The first nymphs were observed one week after complete anthesis, at the milk stage of the grain, and peaked 3 weeks later, at the hard dough stage of the grain, with more than 40 nymphs per panicle on average. This peak in nymphal population coincided



with a second peak in adult infestation (about 10 per panicle).

Adults of the second generation left the panicles of Dos 1 on which they had developed and moved onto panicles of other later maturing Dos, as they developed through vulnerable stages. In all 3 years, there was a peak in adult infestation at the milk stage of the grain (the most attractive); egg-laying was then probably maximum, which resulted in a peak in nymphal population at the dough stage. In all cases, only one generation developed on a particular panicle (figure 1). Over the staggered/extended panicle flowering/maturing period (7-8 weeks) as achieved in these trials (which is not a situation commonly found in farmers' fields) there were three succeeding generations each year (Ratnadass *et al.*, 1994c; Ratnadass *et al.*, 1995b).

## Alternate hosts of *E. oldi*

A search for indigenous host plants of sorghum head bugs was carried out at the Samanko Icrisat-Cirad station and in the surrounding villages and fields, during the dry seasons from 1991-1996 (Ratnadass *et al.*, 1997). Castor (*Ricinus communis* L. - Euphorbiaceae) was the only indigenous plant species found to harbour immature stages of *E. oldi*. Eggs and all nymphal instars were found on inflorescences of castor up to February, along the banks of the Samanko river (1 km north of the Icrisat-Cirad station), and in the villages of Samanko (about 1 km west), Samanko-Sodjéni (1 km south) and Nafadji (about 20 km southwest).

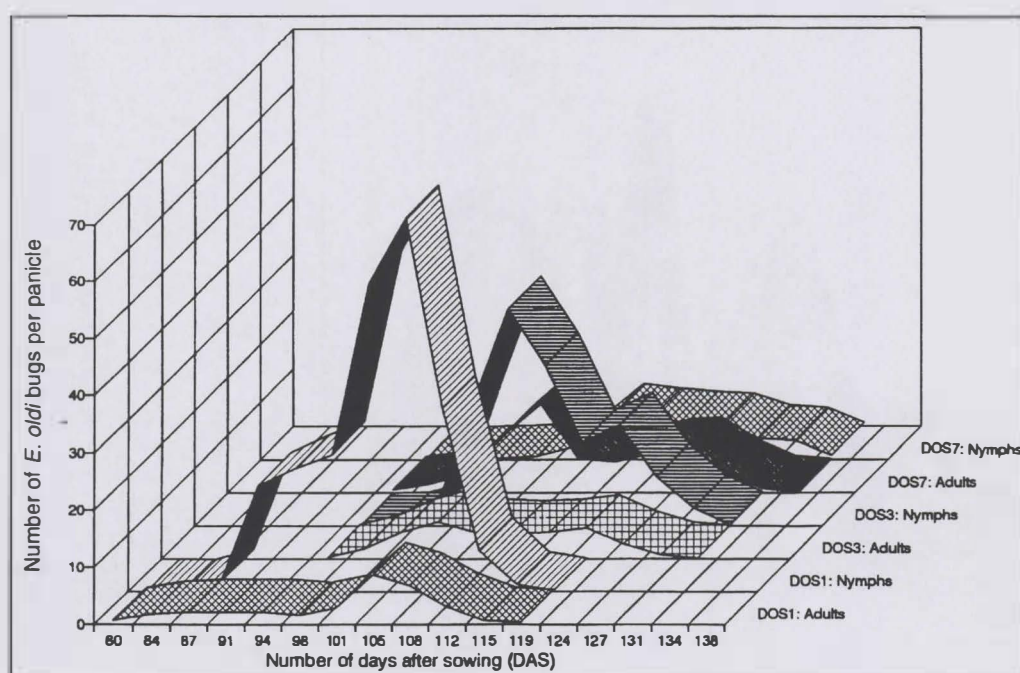
Eggs were inserted into the rachis and green capsules of castor spikes, and nymphs fed mainly on young flower parts, notably male buds. An average of  $19 \pm 1.0$  and  $18 \pm 1.6$  of nymphs and adults were recovered from flowering castor spikes, collected respectively in early December 1995 and early January 1996 at Nafadji.

Oviposition, incubation and nymphal development studies were also carried out at Samanko from 15 January to 5 February 1996 (laboratory conditions: temperature  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ; relative humidity  $80 \pm 10\%$ ; natural photoperiod: daylength 11:20-11:31). Adults of *E. oldi* reared from sorghum panicles (cultivar Mr 906) were confined to four fresh inflorescences of castor placed individually in 1.25 l aerated transparent plastic containers.

Castor spikes were changed every day, and egg hatching was recorded. Groups of 15-20 newly emerged first instar nymphs were transferred onto five fresh castor spikes and five sorghum panicles (cv. Mr 906), and placed individually in plastic containers. Food was replaced as it dried, and containers were observed daily to record adult emergence.

In the laboratory, the incubation period of *E. oldi* on castor was  $6.1 \pm 0.4$  days (mean of four castor spikes with 48-65 hatchings on each). The duration of the nymphal development was  $10.4 \pm 1.1$  for males and  $10.0 \pm 0.5$  for females on castor, compared with  $10.5 \pm 1.1$  and  $10.1 \pm 0.1$  on sorghum. The mean sex ratio was 1:1 on both hosts (Ratnadass *et al.*, 1997).

In 1996, population dynamics of *E. oldi* were monitored on both sorghum and castor, as part of an "insect reserve" trial, which had been conducted at Samanko since 1993 (Maïga, 1993). While first adults were observed in early August on castor spikes on the



**Figure 1.** *E. oldi* population dynamics on sorghum cv. ICSV 197 (Samanko, means 1992-1994).

Samanko river banks, one generation developed on castor planted on the station in late August-September, before sorghum was infested (which occurred in late September). Only one generation developed on sorghum, then 2-3 more developed on castor spikes in November-December (figure 2).

On the other plots of the "insect reserve" (fallow, cotton and groundnut crops), only a few adults of *E. oldi* were found, around the peak of abundance on sorghum. These probably came from neighboring castor and sorghum plants. On castor, there was a first peak in adult population in late August, followed by a peak in nymphal population in early September, then a second peak in adult population, which coincided with a first peak in adult population on sorghum, in mid-October. Adults of another *Eurystylus* species, namely *Eurystylus antennatus* Odhiambo, first identified on sorghum at Samanko in 1995, were also found in 1996 on the groundnut and fallow plots of the insect reserve, at par with *E. oldi*.

## Factors affecting the bioecology of *E. oldi*

### Climate

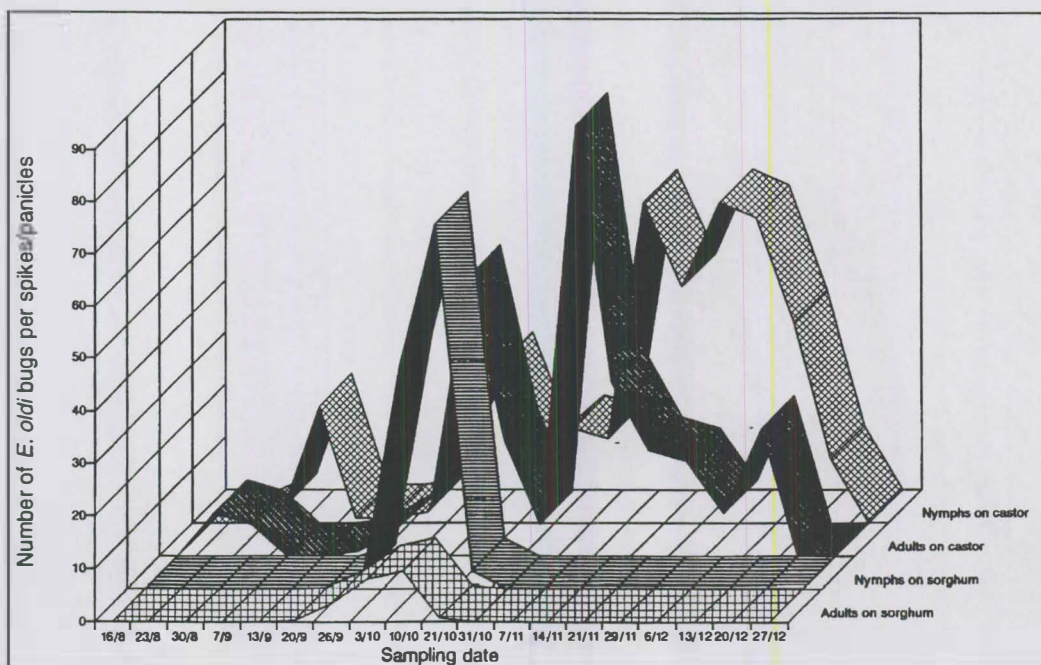
To search for empirical relationships between weather and plant diseases, Coakley *et al.*, (1988) described a computer program called "Window". This carries out numerous correlations studies between individual weather factors, averaged or accumulated over different windows of time, throughout the crop

growing season. An analysis using Window was carried out in 1995 for sorghum head bugs, using data from the above-reported population dynamics trial. As this trial was repeated in 3 consecutive years with 8 different Dos each year, by treating each different Dos as a separate data set, 24 "growing seasons" were compared (Butler, 1996).

Several significant correlations ( $P < 0.001$ ) were found between the peak head bug number and weather variables. There were positive correlations with the average minimum temperature from 91 to 115 days after sowing (Das) (figure 3a,  $r = 0.66$ ), and with the average minimum relative humidity from 66 to 70 Das (figure 3b,  $r = 0.66$ ) (Butler, 1996). On the other hand, a negative correlation was found with the average maximum temperature from 46 to 55 Das ( $r = -0.67$ ), and a positive one with the average temperature range (maximum minus minimum) from 1 to 5 Das ( $r = 0.68$ ).

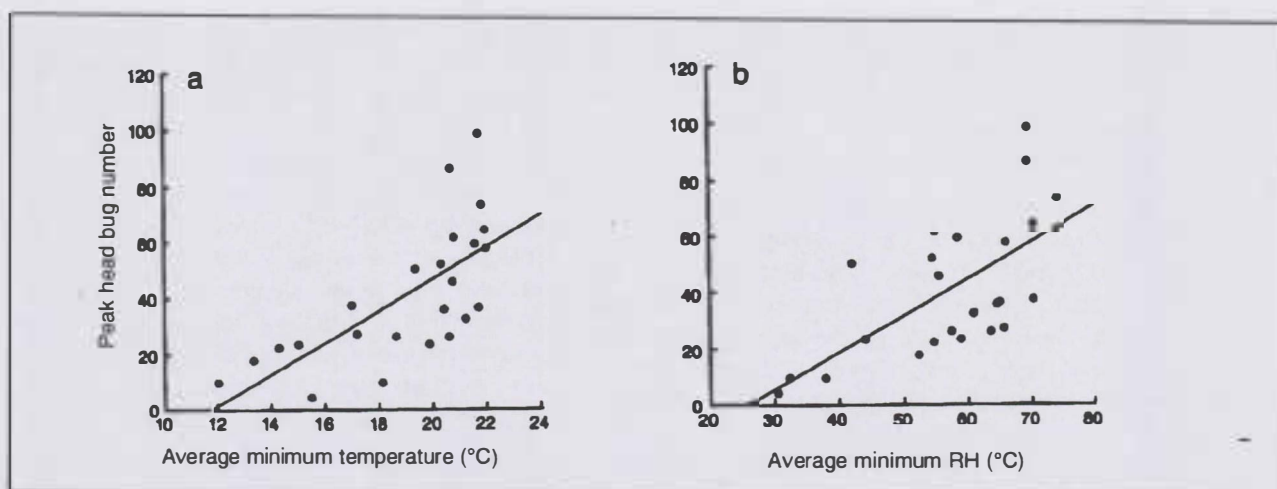
### Natural enemies

A qualitative inventory of arthropodan predators associated with *E. oldi*-infested panicles was carried out from 1991-1996 on the Samanko station. Randomly selected panicles from complete anthesis to maturity were visually observed, then introduced into polyethylene bags and vigorously shaken so as to dislodge all insects present, which were then sorted in the laboratory. When immature stages of predatory bugs were collected, they were reared in the laboratory, providing them nymphs of *E. oldi* as preys (Ratnadass *et al.*, 1996). Part of this inventory done on the sorghum plots of the above-mentioned "insect reserve" trial carried out from 1993-1996.



**Figure 2.** *E. oldi* population dynamics on sorghum cv. ICSV 1063 and castor (Samanko, 1996).





**Figure 3.** Relationships between different weather variables and peak head bug numbers. The weather variables were averaged over different time periods (windows) during the crop growing season (a = minimum temperature from 91 to 115 Das; b = minimum relative humidity from 66 to 70 Das).

Of the potential predators of head bugs that have been reported before (MacFarlane, 1989, Steck et al., 1989, Sharma, 1989), we found on *E. oldi*-infested sorghum panicles a number of spiders, two earwigs species, namely *Forficula senegalensis* Serville and *Diaperasticus erythrocephalus* (Olivier) (Dermaptera: Forficulidae) and several Heteropteran predators, a list of which is provided in table I. *Orius* sp. was abundant at the time of anthesis. It is known as a predator of the sorghum midge *Stenodiplosis sorghicola* (Coquillett) (Diptera: Cecidomyiidae), but could also predate on the first instars of *E. oldi* (MacFarlane, 1989). *Orius* sp. was also present on *E. oldi*-infested castor spikes.

*Rhynocoris segmentarius* was the most commonly found Reduviid species. Although it has been known for long as a predator of several species of Heteropteran pests (Risbec, 1950), we did not observe it feeding on *E. oldi*. All the same for *Phonergates guitati*, which should therefore also be considered at this stage only as a potential predator of *E. oldi*. On the other hand, a *Cosmolestes pictus* adult was observed on a sorghum panicle, feeding on a third instar nymph of *E. oldi* (Ratnadass and Cissé, 1996). Total nymphal periods of *Pseudophonoctonus paludatus* and *Rhynocoris* sp. ? (*albopilosus*), whose ootheca had been found on sorghum panicles, were respectively  $45.3 \pm 2.5$  days (4 insects evaluated), and  $71.4 \pm 9.9$  days (7 insects evaluated).

## Discussion

Several key aspects of the bioecology of *E. oldi* were studied, reported and elucidated for the first time during these studies. For instance, although

**Table I.** List of predatory heteropteran bugs collected on sorghum panicles infested by *E. oldi* (Samanko, 1994-1996).

Family	Genus/species
Anthocoridae	<i>Orius</i> sp.
Reduviidae	<i>Cosmolestes pictus</i> (Klug)
	<i>Pseudophonoctonus paludatus</i> (Distant)
	<i>Phonergates guitati</i> Villiers
	<i>Rhynocoris</i> ? <i>albopilosus</i> (Signoret)
	<i>Rhynocoris segmentarius</i> (Germar)

Schouteden (1937) and Risbec (1950) reported *E. oldi* from castor in Zaïre and Senegal, respectively, results from our studies were the first to suggest that castor could serve as an alternate host for *E. oldi* in West Africa, and at least partly explain its off-season carry-over, and sorghum reinfestation. Other surveys conducted in Nigeria, Cameroon and Chad, provided a list of several plant species harboring *E. oldi*, including during the dry season, but only at the adult stage, and no evidence was provided that the pest could complete its full cycle on them (Ajayi and Aji-boyé, in press).

In the vicinity of Bamako in Mali, castor occurs on river banks, and in almost every village. It is a tall, multi-branched perennial that flowers over a long period (year-round in some cases). It is unclear whether the main source of population carry-over of *E. oldi* can be explained by several cycles of the pest being completed on an alternate host such *R. communis*, or whether the insect undergoes embryonic diapause in the tissues of the alternate host, as was suggested by Steck et al., (1989). As a matter of fact, it is not known what are the state and activity of *E. oldi* from March-July, since the pest was



never caught in light-traps, even at the peak of its abundance at the end of the rainy season (Sylla, 1995). Due to adverse climatic conditions, it could also, though not diapausing, survive at population levels and activity rates too low to detect.

Our laboratory studies demonstrated the ability of adult insects originating from nymphs bred from sorghum to oviposit on castor, and that of nymphs to develop equally well on castor and sorghum. These observations will contribute to the integrated control of mirid head bugs as sorghum pests. Priority should be given to interruption of the infestation cycle passing through castor. This could be achieved by eliminating castor spikes or spraying them with insecticides before sorghum flowering, since infestation appears to originate from a small number of localized plants. However, there is a need to search for other potential alternative hosts, as castor could only be one of those.

While the climatic factors occurring 46 to 70 Das may affect head bug populations which are on castor, those (temperature range) occurring 7 weeks before could be just spurious. Generally speaking, even if correlations calculated using the Window software (Butler, 1996) should not be used to indicate cause and effect, they are valuable, however, for indicating times when a variable may be affecting head bugs. For instance, based on assumptions made by Steck *et al.*, (1989), some of the factors prevailing before head bug occurrence on castor spikes and sorghum panicles, could also trigger the termination of diapause in the eggs inserted in alternate host(s). This could be tested experimentally.

As for other correlations derived from our population dynamics studies, they can result in recommendations in terms of cultural practices, such as sowing dates. In our studies we found two major peaks of head bug populations, like Dombia and Teetes (1994). However, we went further in establishing that they corresponded to three generations of the pest.

No parasite or parasitoid of *E. oldi* has been recorded so far. As for its predators, although sorghum has little scope for biological control through augmentation in West and Central Africa, their conservation should be a constant concern, although their actual impact on head bug populations has not been documented. In view of the effect of host plant genotype, which has been well documented in the case of sorghum and head bugs, there could be a scope for studying tri-trophic interactions (namely sorghum-head bugs-predators).

Some other aspects still need to be documented, such the interaction between bug damage and grain mold infection. In the case of the Regional sorghum head bug and grain mold trial that was conducted for the first time in 1996 in 15 research stations distributed

over 11 countries of the region, under the auspices of the West and Central Africa Sorghum Research Network (Wcasrn), multilocal testing, made it possible to expose cultivars to a range of situations in terms of biotic and abiotic environments. The preliminary results further confirm those obtained in 1991 in Mali on sorghum cultivar Icsv 1002 (Intsormil, 1993, Ratnadass *et al.*, 1995), that grain mold infection is positively and significantly correlated to head bug damage, and that panicle protection from bugs alone with insecticide application, results in a reduction in grain mold infection comparable to that observed for head bug damage (unpublished data).

Such a trial constitutes an ideal way of regional collaboration, as it makes pest resistance sources available to interested scientists in Wcasrn member Nars, for use in national breeding programs, while providing the Icrisat-Cirad team involved in the coordination of the trial, information on the spectrum and stability of the resistances identified, as well as on variability in insect pest populations at different sites. These strategic results obtained through regional cooperation, would then be jointly published and thus be made available to all interested individuals or institutions.

On the other hand, head-bug population dynamics studies need also to be conducted on-farm, to determine whether infestations level as dramatic as those observed on research stations are likely to occur in case of extension and cultivation of improved cultivars in large stands. Preliminary studies carried out in the Kolokani area (North of Bamako) suggest that sort of a "dilution effect" might be at work, namely that hybrids and improved varieties cultivated in large plots are much less heavily infested by bugs than when cultivated in small plots (Sompoto, 1995, Massa, 1996).

**Acknowledgements.** We thank Ms K. Mallé, and Messrs D. Diarra, H.M. Maïga, M.L. Sangaré and C.A.T. Thiéro, at Icrisat-Cirad, Samanko, for their help in conducting these experiments. We are also grateful to Drs G. Stonedahl (International Institute of Entomology, UK), B. Michel (Cirad/Ier, Mali) and Mr J.M. Males (Cirad-ca, France) for insect identifications.

## References

- AJAYI O., AJIBOYE T.O., in press. Non crop plant hosts of the sorghum head bug, *Eurystylus oldi* Poppius in Cameroon, Chad and Nigeria. International Sorghum and Millets Newsletter 38.
- BUTLER D.R., 1996. Microenvironment studies: their Role in Crop Protection Research. In Sorghum-perspectives of a global research agenda. Icrisat Sorghum projects consultative group meeting,

- 11-14 December 1995, Icrisat Western and Central Africa Region, Bamako, Mali (NWANZE K.F., BANDYOPADHYAY R., eds). Patancheru, India, Icrisat, p. 97-105.
- COAKLEY S.M., MCDANIEL L.R., LINE R.F., 1988. Quantifying how climatic factors affect variation in plant disease severity: a general method using a new way to analyze meteorological data. *Climate Change* 12: 157-175.
- DOUMBIA Y.O., 1992. Connaissances actuelles sur la punaise de la panicule du sorgho au Mali : *Eurystylus marginatus* Odhiambo (Hemiptera, Miridae). In La lutte intégrée contre les ennemis des cultures vivrières dans le Sahel. Actes du deuxième séminaire sur la lutte intégrée contre les ennemis des cultures vivrières dans le Sahel, 4-9 janvier 1990, Bamako, Mali (Institut du Sahel éd.). Bamako, Mali, Insah, p. 127-132.
- DOUMBIA Y.O., BONZI S.M., 1985. Note sur les problèmes des insectes des panicules du sorgho au Mali. In Proceedings of the West African Regional Sorghum Network Workshop, 21-24 October 1985, Bamako, Mali. Ouagadougou, Burkina Faso, Safgrad, p. 173-182.
- DOUMBIA Y.O., TEETES G.L., 1994. Distribution, dégâts et dynamique des populations d'*Eurystylus marginatus* (Heteroptera, Miridae), ravageurs du sorgho au Mali. In Progress in Food Grain Research and Production in Semi-Arid Africa: Proceedings of the Safgrad Inter-Network Conference, 7-14 March 1991. Palais des congrès, Niamey, Niger (MENYONGA, J.M., BEZUNEH T., YAYOCK J.Y., SOUMANA I., Eds). Ouagadougou, Burkina Faso, Safgrad, p. 321-331.
- INTSORMIL, 1992. Grain Sorghum/Pearl Millet Collaborative Research Support Program (Crsp) Annual Report 1991. Lincoln, Nebraska, USA, University of Nebraska, 241 p.
- MacFARLANE J., 1989. The hemipterous insects and spiders of sorghum in Northern Nigeria. *Insect Science and its Application* 10: 277-284.
- MAIGA H.M., 1993. Inventaire systématique des insectes associés à une réserve d'entomofaune, dynamique des populations de lépidoptères foreurs de tiges de sorgho et piégeage sexuel de *Busseola fusca*. Rapport de fin de cycle de l'Ipr de Katibougou. Koulikoro, Mali, Ipr, 22 p.
- MASSA M.B., 1996. Etude en milieu paysan (Mali) de l'infestation et des dégâts comparés des punaises des panicules sur variétés de sorgho guinea et caudatum, et en grandes et petites parcelles. Mémoire de fin d'études de l'Ipr de Katibougou. Koulikoro, Mali, Ipr, 19 p.
- RATNADASS A., CISSE B., MALLE K., 1994. Notes on the biology and immature stages of West African sorghum head bugs *Eurystylus immaculatus* and *Creontiades pallidus* (Heteroptera: Miridae). *Bulletin of Entomological Research* 84: 383-388.
- RATNADASS A., CISSE B., SANGARE M.L., 1994. Dynamique des populations des punaises mirides des panicules de sorgho au Mali. In 3<sup>e</sup> séminaire international sur la Lutte intégrée au Sahel, 1-9 avril 1994, Uctr/Pv/Insah/Cilss, Dakar, Sénégal, 21 p.
- RATNADASS A., DOUMBIA Y.O., AJAYI O., 1995. Bioecology of sorghum head bug *Eurystylus immaculatus* and crop losses in West Africa. In Panicle insect pests of sorghum and pearl millet: proceedings of an International Consultative Workshop, 4-7 October 1993, Icrisat Sahelian Center, Niamey, Niger (NWANZE, K.F., YOUNG O., Eds.). Patancheru, India, Icrisat, p. 91-102.
- RATNADASS A., AJAYI O., 1995. Panicle insect pests of sorghum in West Africa. In Panicle insect pests of sorghum and pearl millet. Proceedings of an International Consultative Workshop, 4-7 October 1993, Icrisat, Sahelian Center, Niamey, Niger (NWANZE, K.F., YOUNG O., eds.). Patancheru, India, Icrisat, p. 29-38.
- RATNADASS A., CISSE B., 1996. New options for the integrated management of sorghum head bug *Eurystylus oldi* Poppius (Heteroptera: Miridae) in West Africa. Presented at the XX International Entomology Congress, 25-31 August 1996, Florence, Italy, 12 p.
- RATNADASS A., CISSE B., DIARRA D., SANGARE M.L., 1997. Indigenous host plants of sorghum head-bugs (Heteroptera: Miridae) in Mali. *African Entomology* 5 (1): 158-160.
- RISBEC J., 1950. La faune entomologique des cultures au Sénégal et au Soudan français. Dakar, Sénégal, Gouvernement général de l'Afrique occidentale française, 498 p.
- SCHOUTEDEN H., 1937. Un capsidé parasite du ricin. *Revue de zoologie et de botanique africaines* 29 : 216-217.
- SHARMA H.C., 1989. Tour report: Studies on sorghum head bugs in West Africa (17 September-19 October 1989). Report of cooperative work carried out at Wasip, Kano, and Wasip, Samanko. Patancheru, India, Icrisat, 38 p.
- SOMBORO D., 1995. Evaluation comparative des hybrides et variétés de sorgho en milieu paysan dans le cercle de Kolokani. Mémoire de fin d'études de l'Ipr de Katibougou. Koulikoro, Mali, Ipr, 64 p.
- STECK G.J., TEETES G.L., MAIGA S.D., 1989. Species composition and injury to sorghum by panicle feeding bugs in Niger. *Insect Science and its Application* 10: 199-217.



# Host plant resistance in sorghum to *Eurystylus oldi* in West Africa

A. RATNADASS<sup>1</sup>, B. CISSE<sup>1</sup>, M.F. COULIBALY<sup>1</sup>, G. FLIEDEL<sup>2</sup>, J. CHANTEREAU<sup>1</sup>

1. Icrisat-Cirad, BP 320, Bamako, Mali

2. Cirad-ca, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

**Abstract** — The panicle-feeding bug *Eurystylus oldi* Poppius (Heteroptera : Miridae) has recently become a key pest of sorghum in West and Central Africa, particularly in Mali, and on improved compact-panicled types. To reduce losses incurred at the small farm level, detailed studies were carried out in 1989-1996 by Icrisat-Cirad, on several aspects of host plant resistance. These studies made it possible to identify sources of resistance, and particularly to confirm high and stable resistance in compact-panicled sorghum cultivar Malisor 84-7. Results of studies suggested that the major factor associated with head bug resistance in Malisor 84-7 was a quicker endosperm hardening pattern in this cultivar. Studies on the genetics of this resistance showed that it is highly heritable and mainly under additive gene action. Using pedigree breeding selection, it has been possible to transfer head bug resistance from crosses between Malisor 84-7 and high yielding cultivars, and several promising progenies combining reasonable head bug resistance and acceptable agronomic traits were obtained. Further screening is underway, with the aim of identifying new sources of resistance, possibly involving other factors. On the other hand, efforts are now underway, aiming at mapping resistance genes, using molecular markers.

**Résumé** — Résistance variétale du sorgho à *Eurystylus oldi* en Afrique de l'Ouest. Les punaises des panicules, particulièrement *Eurystylus oldi* Poppius (Heteroptera : Miridae), sont récemment devenues les principaux ravageurs du sorgho en Afrique de l'Ouest, notamment au Mali, et sur les variétés améliorées à panicule compacte. Afin de réduire les pertes subies par les petits producteurs, des études ont été conduites de 1989 à 1996 par le Programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad (Mali) sur plusieurs aspects de la résistance variétale de la plante hôte à son ravageur. Les recherches ont permis l'identification de sources de résistance, et notamment la confirmation du haut niveau et de la stabilité de la résistance rencontrée chez Malisor 84-7, une variété à panicule compacte. Les résultats de l'étude suggèrent que le principal facteur associé à la résistance aux punaises chez Malisor 84-7, est le durcissement rapide de l'albumen de cette variété, par rapport aux variétés sensibles. L'étude de la génétique de cette résistance a montré qu'elle était fortement héritable et principalement sous l'action de gènes additifs. Par sélection généalogique, il a été possible de transférer la résistance aux punaises de Malisor 84-7, en la

croisant avec des variétés productives. Plusieurs descendances prometteuses, combinant un niveau raisonnable de résistance aux punaises et un bon niveau de rendement, ont ainsi été obtenues. Le criblage se poursuit, en vue d'identifier de nouvelles sources de résistance qui feraient appel à d'autres facteurs. Des études impliquant des marqueurs moléculaires sont également en cours, avec pour objectif la cartographie des gènes de résistance, dans l'optique de programmes de sélection assistée par marqueurs.

The mirid panicle-feeding bugs, particularly *Eurystylus oldi* Poppius have recently become key-pests of sorghum in West Africa. Feeding and oviposition of these head bugs on maturing sorghum grains result in severe quantitative and qualitative losses, particularly on improved compact-headed types.

These pests are therefore a major threat to the increase of sorghum production through the extension of improved cultivars, which, although better yielding, are more susceptible to head bug damage than local loose-panicled guinea landraces. Sorghum improvement programs in the region should therefore focus on host plant resistance to these panicle feeding bugs.

The use of resistant cultivars is often the most efficient means of controlling crop pests, particularly in the case of small-scale farmers, whose access to inputs is limited. In addition, this technique does not have harmful effects on man (namely producers and consumers) or the environment, including pests natural enemies. In this respect, it is fully compatible with other crop protection techniques, and should be the cornerstone of any integrated pest management program.

Earlier work in the West Africa region is limited. However, considerable efforts by Icrisat and Nars, notably Ier in Mali, have resulted in the development of reliable artificial infestation techniques to screen



sorghum lines for resistance to *E. oldi* and the identification of a few sources of resistance, and of some of the factors associated with head bug resistance in sorghum.

The studies presented were carried out from 1989-1996 by Icrisat-Cirad, with the following specific objectives:

- identification of sources of resistance to sorghum head bugs in the compact-panicked background;
- elucidation of a factor imparting resistance to head bugs;
- determination of the genetic nature of this resistance;
- selection of sorghum cultivars combining good level of head bug resistance with acceptable agronomic traits.

## Screening and breeding compact-panicked sorghum varieties for head bug resistance

During 1989 and 1990 rainy seasons, we evaluated 12 sorghum cultivars, at Samanko and Cinzana (Mali), and Farako-Ba (Burkina Faso), in two Dos and under both natural and artificial head bug infestation (Ratnadass *et al.*, 1994).

Besides head bug infestation, population buildup, and damage scores, other parameters, namely 1 000-kernel weight, percent "floaters" in a sodium nitrate solution of specific density 1.205, vitrosity, and germination rate, were measured for protected and infested panicles for all 12 entries. In addition, grains from protected and infested panicles of selected entries were analyzed for dehulling recovery rate.

Results showed the high level and stability of head bug resistance in the *ler* cultivars Malisor 84-7 and Csm 388, for all parameters measured under both natural and artificial infestation, and the dramatic effect of head bug attack on susceptible cultivars such as S 34.

For instance, Malisor 84-7 and Csm 388 were by far the least infested cultivars, with maximum values for the infestation level of respectively 51 and 62 head bugs per five panicles on the 10 trials where this parameter was measured, compared with > 400 on all the other entries. Under natural infestation, maximum head bug visual scores observed on the 12 trials where this parameter was taken, were  $\leq 4.0$  in these two entries, compared with > 7.0 in Framida and S 34. These results were partly confirmed under artificial infestation, although differences between cultivars narrowed down under cage conditions.

In both years, 1 000-kernel weight was reduced by about 50% in S 34, following artificial infestation by head bugs, whereas it was not significantly affected in Malisor 84-7 and Csm 388. Dehulling recovery rate was reduced by about 30% in S 34 and Gadiaba (a Durra cultivar), compared with only 5% in Malisor 84-7 and Csm 388. Similarly, in S 34, germination rate was reduced by half, and proportion of low density grains increased threefold, whereas differences between protected and infested panicles were not significant in Malisor 84-7, for these parameters. Loss of vitrosity was three times greater in S 34 than in Malisor 84-7 (Ratnadass *et al.*, 1994).

We then conducted Advanced Head Bug Trials during the 1991 rainy season at Samanko and Farako-Ba, and the 1992 rainy season at Samanko. We evaluated nine and 12 compact-headed sorghum cultivars, respectively, along with a local guinea cultivar as control (Csm 388 at Samanko, and Gnofing at Farako-Ba), in two Dos in 1991, and one in 1992 (Ratnadass *et al.*, 1995).

Among the cultivars evaluated in both years were notably the best two entries of the 1990 Preliminary Head Bug Screening Trial (87W810 and 89W891, advanced progenies from a cross between high yielding Icsv 1002 and Malisor 84-7). The same observations were made as in the 1989 and 1990 Advanced Head Bug Screening Trials, on head bug infestation and damage under natural and artificial infestation.

In 1991, infestation was maximum at Samanko on the first Dos, and at Farako-Ba on the second Dos. We recorded 37 and 30 head bugs per 5 panicles respectively in both locations on Malisor 84-7, compared with 301 and 331 on Icsv 197 (second susceptible check). Under natural infestation, Malisor 84-7 had a visual damage score of 3.8 at Samanko, and 3.3 at Farako-Ba, compared with 6.7 on S 34 in both locations. These differences were partially confirmed under cage conditions. At Samanko, we recorded on first and second Dos resp. 57 and 69 bugs per panicle on Malisor 84-7, compared with > 100 on both Dos in Csm 388, Icsv 197, and 89W891. Under artificial infestation, Malisor 84-7 had a damage score of 3.7 and 3.8, compared with 4.0 and 2.8 in Csm 388, and 7.2 and 6.5 in S 34.

In 1992 at Samanko, we recorded 28 head bugs per 5 panicles on Csm 388 and 67 on Malisor 84-7, compared with 340 on S 34 and 355 on Haden-Kori (a Heggeri sorghum from the river Senegal region). Under natural infestation, Csm 388 had a mean damage score of 2.5 and Malisor 84-7 had 3.2, compared with 5.7 for both S 34 and Icsv 197. Under cage conditions, we recorded 75 bugs per panicle on Csm 388 and 95 on Malisor 84-7, compared with 510 on Haden-Kori, and 484 on 89W891. Damage rating under artificial infestation was 3.7 for Csm 388 and 4.8 for Malisor 84-7, compared with 4.5 for 87W810 and 7.7 for Icsv 197.

The proportion of light grains (percent floaters) in the first Dos and the germination rate in the second Dos differed significantly ( $P = 0.05$ ) in Malisor 84-7 between protected and artificially infested panicles. In contrast, ICSV 197 and S 34 showed markedly reduced quality for all parameters. Malisor 84-7, 87W810 and CSM 388 showed almost no reduction in dehulling recovery rate, while S 34 showed a marked reduction of 55%. Malisor 84-7 showed no change in t<sub>0</sub> quality, whereas CSM 388 showed a noticeable decrease in acceptability of t<sub>0</sub> color.

In 1992, 1 000-kernel weight was not affected by exposure to natural head bug infestation in Malisor 84-7, Isiap Dorado and CSM 388, whereas it was reduced by over 30% in 89W891. Under artificial infestation, cultivars Isiap Dorado, Malisor 84-7, CSM 388 and 87W810 showed < 20% reduction in 1 000-kernel weight, compared to 48% in S 34, and 59% in Hadien-Kori. In the latter, quantitative loss was further aggravated by a reduction of 94% in dehulling recovery rate. The germination rate was similar for all the protected panicles, with a mean of 94%, while there were large differences for the artificially infested panicles. The local control CSM 388 had a germination rate of 85%, while the only other varieties with a germination rate above 55% were Malisor 84-7 and 87W810.

Although 1991 results confirmed high level and stability of head bug resistance reported earlier for Malisor 84-7, this cultivar did not perform as well in 1992, particularly under artificial infestation. However, it remains our best source of head bug resistance among the compact-headed types. Isiap Dorado, although little infested and damaged by head bugs under natural conditions, had a high damage score despite a medium level of infestation under cage conditions, and therefore showed a super-susceptible response. On the other hand, Hadien-Kori was highly susceptible. Although this cultivar genetically accounts for 12.5% of the Malian base population of sorghum, from which the Malisor series is derived, it is obviously not responsible for the resistance found in Malisor 84-7.

In contrast, 87W810 had low scores despite medium infestation levels, and showed a reasonable tolerance to head bug attacks. In addition, its yield in 1992 was higher (1.44 t/ha) than those of Malisor 84-7 (1.23 t/ha) and CSM 388 (1.25 t/ha). These results suggest that it is possible to transfer a reasonable level of head bug resistance into good agronomic background, using pedigree breeding selection (Ratnadass *et al.*, 1995).

## Mechanism of head bug resistance in sorghum

As glume characteristics (notably length of period to glume opening) do not seem to be the factors imparting head bug resistance to Malisor 84-7, it was suggested that the mechanism involved in this genotype might be a faster grain hardening pattern. Earlier attempts to document this evidence were not quite conclusive. We therefore conducted studies in 1991 and 1992 at Samanko, Mali, and Montpellier, France, to further examine physical and chemical characteristics of maturing grains (Fliedel *et al.*, 1993 ; Ratnadass *et al.*, 1995).

These included the evolution of hardness of the pericarp and endosperm (by penetration tests using an Instron Universal food testing machine, on which a minutia was adapted), and contents in free phenolic compounds and tannins, determined respectively by a Folin-Ciocalteu method (using gallic acid as a standard), and an acidic vanillin method (using a catechin standard). Three sorghum cultivars, resistant Malisor 84-7, susceptible S 34, and Irat 202, moderately resistant, were used in this study.

In 1991 at Samanko, S 34 had a damage score of 7.9 under natural infestation, compared with 5.4 in Irat 202, and 3.8 in Malisor 84-7 (averages of two Dos); under cage conditions, damage score were respectively 6.3, 5.1, and 3.9. In 1992, scores under natural infestation were respectively 7.9 for S 34, 5.5 for Irat 202, and 3.5 for Malisor 84-7, whereas under cage conditions, they were respectively 6.5, 5.8, and 3.4. In 1993, scores under natural infestation were respectively 6.0 for S 34, 3.6 for Irat 202, and 3.4 for Malisor 84-7, whereas under cage conditions, they were respectively 7.7, 5.8, and 4.4.

The results of these studies suggested that grain hardening was due to the endosperm rather than the pericarp. Head bug resistance in Malisor 84-7 seemed to be related to endosperm hardening rather than to free phenolic compounds or tannin contents which were much higher in Irat 202, due to the presence of a sub-coat in the grains of this cultivar (Fliedel *et al.*, 1993 ; Ratnadass *et al.*, 1995).

## Genetics of sorghum resistance to *E. oldi*

As a first step in our attempts to elucidate the mode of inheritance of the resistance to head bugs found in Malisor 84-7, we evaluated at Samanko in 1992 and 1993, three sorghum cultivars, Malisor 84-7 (head bug resistant), S 34 and ICSV 197 (both



susceptible), and the  $F_1$ s of their crosses, in Randomized complete block designs (Rcbds) with three replications.

Results showed that in both years, head bug population buildup and damage were less on the resistant parent than on both susceptible parents, and all  $F_1$ s. On the other hand,  $F_1$ s' reaction to head bugs did not differ significantly among crosses, whatever the maternal parent. This suggested that resistance was rather recessive in nature and that there was no maternal effect (Ratnadass *et al.*, 1995, Icrisat, 1994).

More complete studies were conducted in 1995 and 1996, using four parents (namely the same as in the 1992-1993 studies, plus 87W810 as a second resistant parent). In addition to all  $F_1$ s of their crosses,  $F_2$ s and back crosses (Bcs) were also evaluated. These were evaluated in one Dos under natural head bug infestation in 1995, and in two Dos in 1996, under natural head bug infestation, and artificial infestation of the non-segregating generations (Sharma and Ratnadass 1996, Coulibaly, 1996).

In both years and under both types of infestation,  $F_1$ s and  $F_2$ s were not statistically different from their reciprocal, confirming that no maternal effect is involved in head bug resistance. Generation mean analysis on 1996 natural infestation data showed that an important fraction of head bug resistance in Malisor 84-7 was heritable through its different crosses. Diallel analyses were carried out, using the "Diallel" program (Burow and Coors, 1994); they gave General combining ability (Gca) variance values significantly higher than Specific combining ability (Sca) variance

values, in terms of damage scores under both types of infestation ; this was also the case for head bug population buildup under artificial infestation (table I). These results show that head bug resistance in Malisor 84-7 is mainly under additive gene action (table II). This suggests that pedigree breeding selection is an appropriate strategy to develop sorghum cultivars combining head bug resistance with other desirable characteristics (Coulibaly, 1996).

## Discussion

The availability of a reliable screening technique, notably under uniform pest pressure and no-choice conditions, made it possible to identify sources of resistance to head bugs, and particularly to confirm high and stable resistance in compact-panicled sorghum cultivar Malisor 84-7.

The major factor associated with this resistance seems to be a quicker endosperm hardening pattern in this cultivar, resulting in a shorter period during which head bugs can feed and lay their eggs in the maturing grains.

Studies on the genetics of this resistance showed that it did not involve maternal effect, that it was highly heritable, and mainly under additive gene action. These studies could be completed by mapping resistance genes, using molecular markers. Such studies are now underway at Cirad and Texas A & M University.

**Table I.** General Combining Ability (Gca) effects on head bug visual scores under natural and artificial infestation, and head bug population buildup under artificial infestation observed at Samanko in 1996.

Parents	Head bug visual score		No head bugs per panicle (artificial infestation)
	natural inf*	artificial inf*	
Malisor 84-7	- 0.84 **	- 0.58 **	- 4.31 **
87W810	- 0.42 **	- 0.85 **	- 1.50 **
S 34	0.82 **	0.90 **	1.40 **
Icscv 197	0.45 **	0.53 **	4.41 **
Se	± 0.170	± 0.149	± 0.456

**Table II.** Effects of additivity and dominance variances and heritability values on head bug visual score under natural and artificial infestation, and head bug population buildup under artificial infestation observed at Samanko in 1996.

Parents	Head bug visual score		No head bugs per panicle (artificial infestation)
	natural inf*	artificial inf*	
Additivity	1.16	1.44	25.30
Dominance	- 0.05	- 0.05	2.38
H <sup>2</sup> (ns)	0.73	0.82	0.81
H <sup>2</sup> (bs)	0.70	0.79	0.89

H<sup>2</sup> (ns): narrow-sense heritability.

H<sup>2</sup> (bs): broad-sense heritability.



Using pedigree breeding selection, it has been possible to transfer head bug resistance from crosses between Malisor 84-7 and high yielding cultivars and several advanced progenies which combine reasonable head bug tolerance and acceptable agronomic traits were obtained, of which 87W810 is the most promising.

This was confirmed by further evaluation of advanced progenies of another cross involving Malisor 84-7 (namely with Icsv 1014) (Thiéro, 1996). One of these progenies, namely 91W113-2-1, is currently being tested, along with 87W810, Malisor 84-7 and other resistant varieties identified by ICR, in a multilocal trial coordinated by Wcasrn, on 15 stations distributed in 11 countries of the region.

Also, as evidence was found of a diversity of genotypic reactions to head bug attacks, further screening is underway, with the aim of identifying new sources of resistance, possibly involving other factors, such as glume characters, contents in certain chemicals, etc., in view of broadening the genetic basis of head bug resistance.

On the other hand, on-going on-farm studies in the Kolokani region (north of Bamako), should provide information on the level of resistance actually required in improved varieties for their cultivation in large stands at the farm level.

## Acknowledgements

We thank Messrs D. Diarra and C.A.T. Thiéro at Samanko, and Ms M. Yajid at Montpellier, for their help in conducting these experiments. We also thank M. Haïdara and her colleagues at the ICR Cereals Technology Laboratory (Sotuba, Mali) for carrying out grain quality analyses on sorghum samples.

## References

BUROW M.D., COORS J.G., 1994. Diallel, A micro-computer program for the simulation and analysis of diallel crosses. *Agronomy Journal* 86: 154-158.

COULIBALY M.F., 1996. Etude de la génétique de la résistance du sorgho aux punaises des panicules. Mémoire de fin d'études de l'Ipr de Katibougou, 39 p.

FLIEDEL G., RATNADASS A., YAJID M., 1993. Study of some physico-chemical characteristics of developing sorghum grains in relation with head bug resistance. Presented at the Icc International Symposium on Cereals Science and Technology: Impact on a Changing Africa, 9-13 May 1993, Pretoria, South Africa, 24 p.

ICRISAT, 1994. Icrisat West African Programs. Annual Report 1993. Niamey, Niger, Icrisat Sahelian Center, 94 p.

RATNADASS A., RAMAIAH K.V., SHARMA H.C., - CISSE B., 1994. Réaction de variétés de sorgho aux attaques de la punaise des panicules *Eurystylus immaculatus* Odhiambo (Heteroptera, Miridae) en Afrique de l'Ouest. In Progress in Food Grain Research and Production in Semi-Arid Africa. Proceedings of the Safgrad Inter-Network Conference, 7-14 March 1991, Palais des Congrès, Niamey, Niger (MENYONGA, J.M., BEZUNEH, T., YAYOCK, J.Y., SOUMANA, I., eds). Ouagadougou, Burkina Faso, Safgrad, p. 333-343.

RATNADASS A., AJAYI O., FLIEDEL G., RAMAIAH K.V., 1995. Host plant resistance in sorghum to *Eurystylus immaculatus* in West Africa. In Panicle insect pests of sorghum and pearl millet. Proceedings of an International Consultative Workshop, 4-7 October 1993, Icrisat Sahelian Center, Niamey, Niger (NWANZE K.F., YOUNG O., eds). Patancheru, India, Icrisat, p. 191-199.

SHARMA H.C., RATNADASS A., 1996. Sorghum pest management research at Icrisat: Status and future direction. In Sorghum-perspectives of a global research agenda. Icrisat Sorghum projects consultative group meeting, 11-14 December 1995, Icrisat Western and Central Africa Region, Bamako, Mali (NWANZE, K.F., BANDYOPADHYAY, R., eds). Patancheru, India, Icrisat, p. 39-56.

THIERO C.A.T., 1996. Contribution à l'étude de la réaction aux attaques de la punaise des panicules de sorgho *Eurystylus oldi* Poppius (Heteroptera : Miridae) de descendances avancées d'un croisement entre Malisor 84-7 (résistante aux punaises) et Icsv 1014 BF (productive). Rapport de stage de sous-ingénieur en agronomie tropicale et méditerranéenne, Educatel-France, 32 p.

# Effet insecticide d'extraits de pourghère sur les foreurs des tiges et les punaises des panicules du sorgho au Mali

B. CISSE, A. RATNADASS

Icrisat-Cirad, BP 320, Bamako, Mali

L. MENGUAL, C. DEMBELE

Projet pourghère/Dnhe-Gtz, Cnesoler, BP 134, Bamako, Mali

**Résumé** — A l'Icrisat-Cirad (Mali), des études menées sur milieu nutritif artificiel au laboratoire ont montré un effet létal de l'huile brute de pourghère (*Jatropha curcas*) à la concentration de 1 %, et des esters de phorbol à partir de la concentration de 0,025 %, sur *Sesamia calamistis*, et de l'huile brute dès la concentration de 0,1 % sur *Busseola fusca*. En revanche, l'application de broyats de graines de pourghère, neem ou ricin dans le cornet foliaire de plants d'une variété locale de sorgho, infestés artificiellement avec des insectes d'élevage (dans le cadre d'essais en parcelles expérimentales), n'a pas entraîné de réduction significative des dégâts de *B. fusca*. Un effet bénéfique d'extraits de graines de pourghère formulés en Ulv ou Ce sur les dégâts de punaises des panicules (bien que modeste par rapport à la protection chimique offerte par la deltaméthrine) a été mis en évidence dans le cadre d'essais impliquant quatre variétés soumises à l'infestation naturelle, et ce à des doses très faibles pour des produits d'origine naturelle.

**Abstract** — Insecticidal effect of Physic Nut extracts on sorghum stem borers and head bugs in Mali. At Icrisat-Cirad, studies conducted on *Sesamia calamistis* reared on artificial diet in the laboratory demonstrated a lethal effect of *Jatropha curcas* crude oil and phorbol esters at concentration levels of respectively 1%, and 0.025%. On *Busseola fusca*, crude oil had a lethal effect at a concentration level as low as 0.1%. On the other hand, field application of ground kernels of either *J. curcas*, neem or castor, in the whorl of a local sorghum cultivar, artificially infested with laboratory-reared insects, did not significantly reduce damage by *B. fusca*. In trials where four sorghum cultivars were exposed to natural pest infestation, a beneficial effect of Ulv and Ec-formulated physic nut extracts, on head bug damage (although modest as compared to that of chemical protection with Deltamethrin) was found, at dosages very low for plant-derived compounds.

Contrairement à son homologue de l'Icrisat-Nigeria qui a évalué diverses méthodes de lutte contre divers ravageurs du sorgho, les travaux effectués par l'équipe d'entomologie de l'Icrisat-Cirad au Mali ont surtout concerné la bioécologie des foreurs des tiges et punaises des panicules et la résistance variétale du sorgho à ces ravageurs.

Les perspectives de lutte intégrée, ouvertes par certains des résultats des premières études, bien que n'ayant pas été menées dans cette optique, d'une part, et, d'autre part, les études approfondies menées sur la résistance variétale, sont présentées par ailleurs.

Si l'on excepte des observations effectuées sur des essais agronomiques visant, notamment, à mettre en évidence d'éventuelles différences d'attaque du sorgho par les punaises en fonction de divers modes d'association de culture avec des légumineuses, la seule technique de lutte, autre que la résistance variétale, abordée par l'Icrisat-Cirad, est l'utilisation d'extraits de plantes comme insecticides contre les foreurs des tiges et les punaises des panicules, et ce, de 1994 à 1996. Ces dernières études sont présentées ici.

## Généralités

Selon la littérature, plus de 10 000 plantes possèdent des propriétés insecticides ou insectifuges, acquises au cours de l'évolution pour se défendre des attaques de leur ennemis (insectes, champignons, etc.). Généralement, les substances naturelles sont

moins toxiques pour les humains que les insecticides synthétiques. Néanmoins, il y a des plantes avec des matières toxiques pour les humains et l'environnement (poissons, abeilles et autres pollinisateurs, faune auxiliaire), qui doivent donc être manipulées avec prudence (telles que la nicotine ou le pyrèthre). La disponibilité des plantes insecticides sur le terrain et la possibilité de fabrication des extraits par les paysans eux-mêmes rendent les insecticides naturels moins chers que les insecticides synthétiques (sauf en cas de subventions importantes de ces derniers par les bailleurs de fonds ou les gouvernements).

Les substances naturelles, en général rapidement décomposées par le soleil ou la pluie, ne s'accumulent pas dans l'environnement. Cependant, leur instabilité et leur faible rémanence peuvent aussi limiter leur efficacité. Par ailleurs, à cause des structures complexes des matières actives naturelles, les insectes-cibles n'arrivent pas à développer des résistances contre ces substances. Cependant, un obstacle à leur adoption par les paysans est leur effet souvent retardé par rapport à celui plus visible et frappant des insecticides synthétiques. Cela peut être résolu par l'information des paysans sur leur mode d'action (Ostermann, 1993).

Parmi les plantes ayant fait l'objet d'études approfondies, figure le margousier indien (neem en anglais) *Azadirachta indica* (A.) Juss (Meliaceae). L'azadirachtine (un limonoïde) et ses dérivés sont connus pour leurs effets inhibiteurs sur l'alimentation et la croissance. Ils se montrent efficaces sur un grand nombre d'insectes nuisibles dans le monde. En Afrique, les études sur le neem ont porté davantage sur les ravageurs post-récolte que sur tout autre groupe de ravageurs, il existe, toutefois, quelques exceptions concernant des cultures annuelles au champ (Jackai, 1993).

Au Mali, des tests de prévention de la virose de la tomate (*Tomato Yellow Leaf Curl Virus* : TYLCV) par l'utilisation du neem pour le contrôle de *Bemisia tabaci*, ont été menés par l'Institut d'économie rurale (Ier) à la station de Baguinéda. Les résultats indiquent que le neem (100 g de graines par litre d'eau) et le Decis® 12 Ce (Concentré émulsifiable, 1 ml par litre d'eau) assurent à égalité un degré satisfaisant de protection de la tomate (cv. Roma Vf) contre la virose (Ier, 1995). Sur coton, un essai a été mis en place en 1995, avec pour objectif d'étudier l'efficacité des doses faibles (0,5 l/ha) des formulations binaires utilisées pour la lutte étagée ciblée (Lec), ainsi que le comportement de la Sipamine, une formulation commerciale de l'azadirachtine. Tous les traitements comparés (Deltaméthrine/Triazophos à 3,75/50, 3,75/75 et 7,5/150 g de matière active par ha (g m.a/ha) et Sipamine 0,5 l/ha), ont montré une bonne efficacité contre les chenilles de *Syllepte derogata*, par rapport au témoin non traité (Michel et al., 1996).

Sur les ravageurs du sorgho, des études ont été effectuées au centre de l'Icrisat pour l'Asie, en Inde. Des extraits de neem ont réduit les dégâts de *Chilo partellus*, *Mythimna separata*, *Peregrinus maidis* et *Calocoris angustatus*, et ont entraîné des gains de rendement jusqu'à 25-30 %. En revanche, on n'a pas observé d'effet sur *Atherigona soccata* ni *Stenodiplosis sorghicola* (Sharma et Leuschner, 1983). Des études réalisées au Burkina ont montré l'intérêt du neem pour la lutte contre la mouche des pousses (Zongo et al., 1993).

Le pourghère *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) est un arbuste polyvalent, qui revêt déjà une certaine importance en zone tropicale, notamment au Mali, du fait de ses usages et vertus multiples. Il y est planté en haies vives anti-érosives, ou pour protéger jardins et vergers contre les animaux domestiques. De plus, l'huile extraite de ses graines peut être utilisée comme carburant dans les moteurs diesel ou pour la fabrication du savon, tandis que le tourteau peut servir d'engrais organique.

Les études sur l'effet insectifuge ou insecticide du pourghère sont encore peu nombreuses. Un effet ovicide intéressant de certains extraits, supérieur à celui du neem, a été mis en évidence en Inde sur la teigne de la pomme de terre *Phthorimaea operculella* Zell. (Shelke et al., 1987). Aux Philippines, l'effet insecticide de l'huile brute de pourghère a été signalé sur chenilles et charançons du cotonnier, ainsi que son effet molluscicide sur un escargot en rizières (Morales, 1995). Cet effet molluscicide semble être essentiellement le fait des esters de phorbol, et est particulièrement intéressant dans la perspective de la lutte contre l'onchocercose (Rug et al., 1997). Des travaux récents réalisés à l'université d'Heidelberg ont permis d'identifier, extraire et analyser par HPLC trois esters de phorbol de l'huile de pourghère, et de caractériser leur toxicité sur le Sphingidae *Manduca sexta* (DL50 < 0,01 %). Des études préliminaires ont d'autre part montré que ces composés n'étaient ni mutagènes, ni cancérogènes (Wink, 1994, comm. pers.)

## Efficacité d'extraits de plantes sur les foreurs de tiges du sorgho au Mali

### Tests de laboratoire

Des essais ont été conduits pour évaluer l'efficacité de l'huile de pourghère au laboratoire à Samanko au Mali, en 1994, (température : 25 ± 1 °C ; humidité



relative :  $85 \pm 5$  % ; photopériode naturelle), sur *S. calamistis* et de *B. fusca* (Lepidoptera, Noctuidae). Le milieu nutritif utilisé pour *S. calamistis* était le milieu développé au Cirad à Montpellier (France) qui contient notamment de la farine de maïs et du germe de blé (Bordat, 1980), et pour *B. fusca* le milieu nutritif développé au Centre de l'Icrisat pour l'Asie (Inde) pour *C. partellus*, qui contient notamment de la farine de pois chiche et de la poudre de feuilles de sorgho (Taneja et Leuschner, 1985 ; Ratnadass et al., 1995a).

Les larves des deux espèces ont été élevées de l'éclosion jusqu'à la nymphose dans des boîtes de plastique transparent contenant environ 85 g de milieu, à raison de 10 individus par boîte, une boîte constituant une répétition d'un traitement. En 1994, dans un premier essai sur *S. calamistis*, le milieu à base de blé a été supplémenté avec l'extrait méthanolique d'huile de pourghère (contenant les esters de phorbol) aux doses de 0,025, 0,05 et 0,1 %. On a également inclus un traitement contenant 1 % d'huile pure (soit environ 0,02 % d'esters de phorbol), un traitement consistant en une supplémentation du milieu avec 0,1 % de « blanc » (eau distillée ayant subi le même processus chimique que l'extrait méthanolique), et un témoin non supplémenté. L'essai comportait donc six traitements dans un dispositif en blocs de Fisher à quatre répétitions. Les observations ont porté sur la mortalité larvaire et le taux de nymphose pour les deux essais (Mengual, 1994 ; Ratnadass et al., sous presse).

La mortalité larvaire a été très élevée depuis les premiers stades de développement des chenilles à l'exception du blanc et du témoin. Le taux de nymphose a été nul sur tous les traitements supplémentés avec des extraits de pourghère, alors qu'il a atteint  $58 \pm 13$  % sur le blanc, et  $73 \pm 13$  % sur le témoin. Cette différence entre les deux derniers traitements était significative, alors qu'elle ne l'était pas pour la durée moyenne du développement larvaire (respectivement  $25,2 \pm 0,6$  j pour le blanc et  $25,8 \pm 0,5$  j pour le témoin).

Dans le second essai, sur *B. fusca*, le milieu à base de pois chiche et feuilles de sorgho a été supplémenté avec de l'huile pure, aux concentrations de 1 %, 0,1 % et 0,01 %. En comptant le témoin non supplémenté, l'essai comportait quatre traitements, dans un dispositif en blocs de Fisher à quatre répétitions. Le taux de nymphose a été nul sur les traitements supplémentés à 1 % et 0,1 %, alors qu'il a atteint  $55 \pm 23$  % sur le traitement supplémenté à 0,01 %, et  $70 \pm 7$  % sur le témoin. Cette différence entre les deux derniers traitements n'était pas significative. Elle ne l'était pas non plus pour la durée moyenne du développement larvaire (respectivement  $31,5 \pm 1,8$  j pour le traitement à 0,01 % et  $29,6 \pm 1,5$  j pour le

témoin) (Mengual, 1994 ; Ratnadass et al., sous presse).

Ces résultats sont encourageants car ils mettent en évidence un effet négatif de l'huile brute et de la fraction esters de phorbol sur le développement de deux foreurs du sorgho, et ce à des concentrations très faibles. Ils méritent cependant d'être complétés par des études de laboratoire sur le type d'effet (répulsif, anoxérant ou réellement toxique), et éventuellement de toxicité (ingestion ou contact).

## Essais au champ

En 1995 et 1996, des essais ont été conduits pour évaluer l'efficacité d'extraits de pourghère, de neem et de ricin (*Ricinus communis*, L. Euphorbiaceae) dans la protection du sorgho contre le foreur des tiges *B. fusca*. Une seule variété de sorgho (CSM 388) a été utilisée dans un dispositif en blocs de Fisher à trois répétitions. En 1995, quatre traitements, consistant en une application de deux pincées de poudre de graines de pourghère et de neem, de poudre de tourteau de graines de pourghère et de résidu solide obtenu après extraction aqueuse de neem (consistant à laisser macérer des graines broyées dans de l'eau pendant une nuit à raison de 100 g/l) et filtration, dans le cornet foliaire de la plante deux semaines après levée (sal), ont été comparés à un témoin non traité. En 1996, la poudre de résidu d'extraction aqueuse de neem « tourteau » a été remplacée par la poudre de graines de ricin. On y a ensuite ajouté un traitement consistant en une pincée (environ 0,5 g) de granulés de Carbofuran (3 %), toujours comparés à un témoin, mais cette fois avec une application 40 jours après levée (jal).

L'infestation artificielle a été effectuée au « bazooka » sur la ligne centrale avec environ 6 larves néonates de *B. fusca* dans chaque cornet, 3 sal, et 1 semaine après les traitements en 1995, et avec environ 20 larves 33 jal, et 1 semaine avant les traitements en 1996.

Les larves provenaient d'un élevage de masse au laboratoire (Ratnadass et al., 1995a ; Traoré, 1995). Les observations ont porté en 1995, quatre et cinq semaines après levée, sur le nombre de plants présentant des cœurs morts et la notation visuelle des dégâts foliaires sur une échelle de 1 à 9 (Sharma et al., 1992) a été effectuée respectivement 4, 5 et 6 sal ; en 1996, 40 et 47 jal, sur le nombre de plants présentant des cœurs morts et des symptômes d'attaque foliaire, et la notation visuelle des dégâts foliaires (Ratnadass et al., 1997).

Les résultats sont présentés aux tableaux I et II. Ils font clairement apparaître que, si l'on a observé sur l'essai

**Tableau I.** Effet de la protection avec extraits de plantes sur les pourcentages de cœurs morts et notes visuelles de dégâts foliaires dus au foreur des tiges *B. fusca* observé à Samanko en hivernage 1995<sup>(1)</sup>.

Traitements	Cœurs morts (%)		Note de dégâts foliaires <sup>(3)</sup>		
	2 sai <sup>(2)</sup>	3 sai	1 sai	2 sai	3 sai
Poudre pourghère	36 (36,6) <sup>(4)</sup>	48 (43,7)	3,7	5,0	5,0
Poudre neem	20 (26,1)	41 (39,6)	3,7	6,3	6,3
Tourteau pourghère	31 (33,5)	68 (57,6)	3,7	6,3	7,0
Tourteau neem	37 (37,2)	59 (50,3)	4,3	6,3	6,3
Témoin	28 (31,3)	66 (59,4)	3,7	5,7	5,7
F	ns <sup>(5)</sup>	(ns)	ns	ns	ns
Etm	(± 4,77)	(± 9,59)	± 0,70	± 0,65	± 0,56
Moyenne	(32,9)	(50,1)	3,8	5,9	6,1
CV (%)	(25)	(33)	32	19	16

(1) dispositif en blocs complets avec 3 répétitions.

(2) sai : semaine(s) après infestation.

(3) notation visuelle sur une échelle de 1 à 9 où 1 = moins de 150 mm<sup>2</sup> de surface foliaire détruite sur 1-2 feuilles et 9 = plus de 1200 mm<sup>2</sup> de surface foliaire détruite sur 5-6 feuilles.

(4) la variable a été analysée après transformations arsinus racine ; les valeurs transformées sont indiquées entre parenthèses.

(5) ns : non significatif au seuil de 5 % au test F.

**Tableau II.** Effet de la protection avec extraits de plantes sur les pourcentages de cœurs morts et notes visuelles de dégâts foliaires dus au foreur des tiges *B. fusca* observé à Samanko en hivernage 1996<sup>(1)</sup>.

Traitements	Cœurs morts (%)		Note de dégâts foliaires <sup>(3)</sup>	
	2 sai <sup>(2)</sup>	3 sai	1 sai	2 sai
Poudre pourghère	8 (13,5) <sup>(4)</sup>	10 (14,9)	1,9	2,1
Tourteau pourghère	13 (21,0)	15 (18,7)	1,4	1,7
Poudre neem	5 (10,2)	3 ( 5,5)	1,5	1,6
Poudre ricin	7 ( 8,9)	24 (28,2)	1,2	2,5
Carbofuran	10 (14,3)	8 (13,5)	1,3	1,4
Témoin	5 (7,6)	18 (24,5)	1,4	2,6
F	ns <sup>(5)</sup>	(ns)	ns	ns
Etm	(± 6,93)	(± 7,60)	± 0,18	± 0,39
Moyenne	(12,6)	(17,5)	1,5	2,0
Cv (%)	(96)	(75)	20	35

(1) dispositif en blocs complets avec 3 répétitions.

(2) sai : semaine(s) après infestation.

(3) notation visuelle sur une échelle de 1 à 9 où 1 = moins de 150 mm<sup>2</sup> de surface foliaire détruite sur 1-2 feuilles et 9 = plus de 1 200 mm<sup>2</sup> de surface foliaire détruite sur 5-6 feuilles.

(4) les valeurs après transformations arsinus racine sont indiquées entre parenthèses.

(5) ns : non significatif au seuil de 5 % au test F.

de 1995 une aggravation (logique) des dégâts (cœurs morts et symptômes foliaires) entre la première et la deuxième (et le cas échéant troisième) date d'observation, on n'a, en revanche, observé aucune différence significative entre les traitements comparés, même si l'incidence des cœurs morts à trois semaines après infestation (sai) était inférieure avec la poudre de *neem* les deux années, et avec le carbofuran la seconde année.

## Efficacité d'extraits de plantes sur les punaises des panicules de sorgho

Le potentiel d'extraits de graines de pourghère pour la protection des panicules de sorgho contre la punaise *Eurystylus oldi* Poppius (Heteroptera,

Miridae) a été évalué dans le cadre de trois essais conduits sur la station de Samanko en 1994, 1995 et 1996. Les trois années, quatre variétés de sorgho : S 34, Icsv 1063, Malisor 84-7 et Csm 388 (respectivement sensible aux punaises, productive, résistante et locale), ont été évaluées dans des dispositifs en split-plot à quatre répétitions en 1994 et 1995, et trois en 1996.

En 1994, deux traitements, consistant chacun en deux pulvérisations, 10 j et 15 j après la fin de la floraison, de respectivement 80 l ha<sup>-1</sup> d'une formulation Ulv (*Ultra low volume*) contenant 36 % d'huile de pourghère, et de deltaméthrine en formulation Ce (12,5 g m.a/ ha X 2), ont été comparés à un témoin non protégé (Ratnadass *et al.*, 1995b). En 1995, trois traitements, consistant chacun en trois pulvérisations, à intervalles d'une semaine, commençant à la fin de la floraison, respectivement de 2,4 l/ha d'une formulation Ce avec 30 % d'esters de phorbol (Ep : fraction extraite au méthanol) et de deltaméthrine en formulation Ce (12,5 g m.a/ ha X 3), ont été comparés à un témoin non protégé et à un « blanc » consistant au traitement à 2,4 l/ha avec les seuls adjuvants de la formulation Ce, notamment du méthanol (Ratnadass *et al.*, 1997 ; Dembélé, 1996).

A ces quatre traitements, on en a ajouté deux autres en 1996, avec les extraits aqueux de *neem* et de pourghère, obtenus par filtration comme indiqué ci-dessus et appliqués après une nuit de macération, avec un pulvérisateur manuel à la dose de 900 l/ha. Les observations ont porté sur les populations de

punaises 20 jours après la fin de floraison et sur la notation visuelle de l'attaque par les punaises à maturité sur une échelle de 1 à 9 (Ratnadass *et al.*, 1997).

Les résultats sont présentés en figure 1 et tableaux III, IV, V. Pour les trois années, les effets des variétés, traitements et interactions étaient tous positifs pour les notes visuelles. En 1995 et 1996, il n'y a pas eu de différence significative entre le témoin et le « blanc ». Comme la teneur en Ep de l'huile brute est d'environ 2 %, la quantité totale d'Ep appliquée en 1995 avec trois pulvérisations (environ 2 l/ha) correspondait au cinquième de celle appliquée en 1994, pour une réduction comparable des dégâts de punaises.

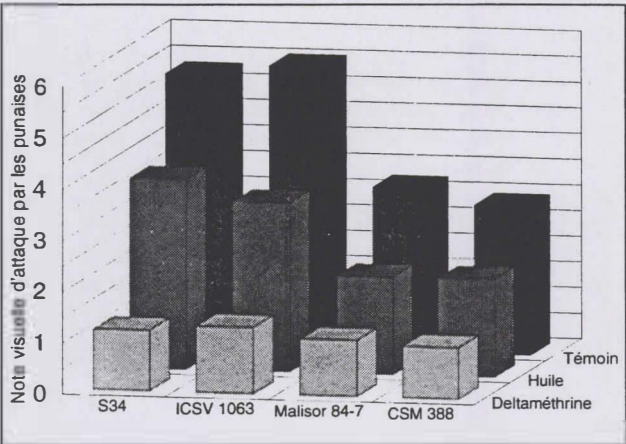


Figure 1. Effet du traitement à l'huile de pourghère sur les dégâts de punaises.

Tableau III. Effet du traitement aux esters de phorbol sur les notes visuelles d'attaque par les punaises observé à Samanko en hivernage 1995.

Variétés	Notes visuelles d'attaque Ds1					Notes visuelles d'attaque Ds2				
	Traitements					Traitements				
	Esters	Blanc	Deltaméthrine	Témoin	Moyenne	Esters	Blanc	Deltaméthrine	Témoin	Moyenne
S 34	3,5 abc	4,3 a	1,0 e	3,5 a	3,2 a	3,5 c	5,3 ab	1,0 d	6,0 a	3,9 a
Icsv 1063	4,0 a	3,8 ab	1,0 e	3,8 ab	3,1 a	3,5 c	4,8 b	1,0 d	5,3 ab	3,6 b
Malisor 84-7	3,0 bcd	2,5 d	1,0 e	3,0 bcd	2,4 b	3,0 c	2,8 c	1,0 d	3,0 c	2,4 c
Csm 388	2,8 d	2,8 cd	1,0 e	2,8 cd	2,3 b	2,5 c	3,0 c	1,0 d	3,0 c	2,4 c
Moyenne	3,3 a	3,3 a	1,0 b	3,4 a	2,7	3,1 b	3,9 a	1,0 c	4,3 a	3,1
Traitements	***					***				
Etm	± 0,24					± 0,27				
Variétés	***					***				
Interactions	***					***				
Etm	± 0,43					± 0,48				
Cv (%)	13					14				

Dispositif en split-plot avec quatre répétitions. Première date de semis (Ds1) : 08/07/95 et deuxième date de semis (Ds2) : 24/07/95.  
 Notation visuelle sur une échelle de 1 à 9 où 1 = tous les grains bien développés, et 9 = tous les grains brunis ou flétris et à peine visibles hors des glumes du fait des piqûres de punaises.  
 Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % par la méthode de Newman-Keuls.  
 \*\*\* Significatif au seuil de 0,1 %.



**Tableau IV.** Effet du traitement aux extraits de pourghère et de *neem* sur les attaques de punaises observé à Samanko en hivernage 1996 (1<sup>re</sup> date de semis).

Variétés	Notes visuelles d'attaque Traitements						Moyenne
	T	P1	P2	P3	P4	D	
S 34	5,7 a	3,3 a	4,7 a	5,0 a	5,0 a	1,0 a	4,1 a
Icsv 1063	4,0 b	3,3 c	3,3 b	3,3 b	4,0 b	1,0 a	3,2 b
Malisor 84-7	3,0 c	2,3 b	3,0 bc	3,0 b	3,0 c	1,0 a	2,6 c
Csm 388	3,0 c	2,3 b	2,3 c	3,0 b	2,7 c	1,0 a	2,4 c
Moyenne	3,9 a	2,8 b	3,3 ab	3,6 a	3,7 a	1,0 c	3,1
Traitements							***
Etm							± 0,17
Variétés							***
Interactions							***
Etm							± 0,25
Cv (%)							14

Dispositif en Split-plot avec trois répétitions (première date de semis : 08/07/96).

Notation visuelle sur une échelle de 1 à 9 où 1 = tous les grains bien développés, et 9 = tous les grains brunis ou flétris et à peine visibles hors des glumes du fait des piqûres de punaises.

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % par la méthode de Newman-Keuls.

\*\*\* : significatif au seuil de 0,1 %.

ns : non significatif au seuil de 5 %.

T : témoin non traité ; P1 : esters de phorbol ; P2, extrait aqueux de pourghère ; P3 : « blanc » en formulation Ce ;

P4 : extrait aqueux de neem ; D : deltaméthrine en formulation Ce.

**Tableau V.** Effet du traitement aux extraits de pourghère et de *neem* sur les attaques de punaises observé à Samanko en hivernage 1996 : 2<sup>e</sup> date de semis.

Variétés	Notes visuelles d'attaque Traitements						Moyenne
	T	P1	P2	P3	P4	D	
S 34	6,3 a	5,3 a	5,7 a	6,0 a	4,7 a	1,0 a	4,8 a
Icsv 1063	6,3 a	4,0 b	4,3 b	5,0 a	5,3 a	1,0 a	4,3 a
Malisor 84-7	3,0 b	3,0 b	3,0 b	3,0 b	2,0 b	1,0 a	2,5 b
Csm 388	3,0 b	2,7 b	3,0 b	3,0 b	3,0 b	1,0	2,6 b
Moyenne	4,7 a	3,8 c	4,0 ab	4,3 ab	3,8 b	1,0 c	3,6
Traitements							***
Etm							± 0,18
Variétés							***
Interactions							**
Etm							± 0,46
Cv (%)							23

Dispositif en Split-plot avec trois répétitions (deuxième date de semis : 22/07/97).

Notation visuelle sur une échelle de 1 à 9 où 1 = tous les grains bien développés, et 9 = tous les grains brunis ou flétris et à peine visibles hors des glumes du fait des piqûres de punaises.

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % par la méthode de Newman-Keuls.

\*\*\* : significatif au seuil de 0,1 % ; \*\* : significatif au seuil de 1 %.

ns : non significatif au seuil de 5 %.

T : témoin non traité ; P1 : esters de phorbol ; P2 : extrait aqueux de pourghère ; P3 : « Blanc » en formulation Ce ;

P4 : extrait aqueux de neem ; D : deltaméthrine en formulation Ce.

Ces résultats mettent en évidence la protection insecticide totale offerte par la deltaméthrine vis-à-vis des dégâts de punaises, et l'effet significatif des esters de phorbol si le niveau de dégâts est assez élevé (cas des variétés S 34 et Icsv 1063). Notons que les différences variétales observées dans l'infestation et les dégâts d'insectes paniculaires ne sont pas à imputer à des différences de cycle entre variétés, ceux-ci étant voisins.

## Conclusion

L'efficacité de l'huile pure a été démontrée sur les larves néonates de *S. calamistis* et de *B. fusca* ainsi que celle des esters de phorbol sur les larves néonates de *S. calamistis*. L'huile pure s'est montrée plus efficace que les esters de phorbol à égale concentration. Les traitements avec graines broyées de pourghère, neem et ricin n'ont pas entraîné de réduction significative des dégâts de *B. fusca*. Comme il est difficile d'envisager l'augmentation des doses avec ce type d'application (la contenance du cornet foliaire étant limitée), ni de tabler sur une multiplication des traitements pour en augmenter l'efficacité (les insectes ne pouvant être atteints que lors des premiers stades qu'ils passent dans le cornet), il serait préférable, en 1997, de s'orienter vers d'autres modes d'application, tels que pulvérisation de formulations Ce, dans le cornet. On pourra également, la même année, effectuer le traitement à la fois avant, et après l'infestation artificielle, et éventuellement, évaluer simultanément des variétés présentant divers niveaux de résistance à *B. fusca*.

Les Ep représentant théoriquement 2 % de la masse d'huile de pourghère (Dembélé, 1996), les doses d'Ep appliquées en 1995 et 1996 avec la formulation Ce ont été de 30 g m.a./ha X 3 passages (= 90 g m.a./ha) comparé à environ 260 g m.a./ha X 2 passages (= 520 g m.a./ha) en 1994 avec de l'huile en formulation Ulv (Ratnadass *et al.*, 1995b). A une dose en m.a. plus de 5 fois inférieure à celle de 1994, les traitements aux Ep de 1995 et 1996 ont permis une réduction significative des dégâts de punaises (loin toutefois d'approcher la protection totale assurée par le traitement à la deltaméthrine les deux années). Les deux années, à la dose testée, l'effet « blanc » n'a pas été significatif par rapport au témoin.

Cet effet des traitements ne s'est toutefois pas traduit par des différences de rendement. Ces résultats restent malgré tout encourageants, et plaident en faveur de la poursuite des essais, en évaluant des doses croissantes d'extraits. Les études déjà entreprises seront poursuivies dans le cadre d'un nouveau projet<sup>1</sup> dont l'un des principaux volets consiste en l'étude des propriétés insecticides d'extraits du pourghère, en

vue de leur utilisation par les paysans d'Afrique de l'Ouest, pour une protection de leurs cultures, économique et respectueuse de l'environnement.

## Références bibliographiques

- BORDAT D., 1980. *Sesamia calamistis* Hmps. Une technique pratique d'élevage de masse sur milieu artificiel. L'Agronomie Tropicale 35 : 35-40.
- DEMBELE C., 1996. Extraction des esters de phorbol de l'huile de pourghère : Analyses et formulation des extraits. Présenté à la 1<sup>re</sup> réunion des partenaires du Projet Ue/4<sup>e</sup> Pcrd « Amélioration durable de la production de sorgho en Afrique de l'Ouest par la lutte intégrée contre ses insectes ravageurs », Montpellier, France, 18-19 novembre 1996. Bamako, Mali, Cnesoler, 8 p. (document interne).
- IER, 1996. 2<sup>e</sup> sous-comité des programmes de recherche du centre de recherche agronomique de Sotuba, Synthèse des résultats du programme fruits et légumes campagne 1993-1994-Proposition de programme de recherche campagne 1995-1996, p. 4-6 (document interne).
- JACKAI L.E.N., 1993. Utilisation du neem dans la lutte contre les ravageurs du niébé. La recherche à l'ita 7 : 5-11.
- MENGUAL L., 1994. Extraction de substances bioactives de l'huile de pourghère (*Jatropha curcas* L.) et bioessais sur *Zonocerus variegatus*, *Sesamia calamistis* et *Busseola fusca* pour la caractérisation d'un effet insecticide en zone sahéenne. Mémoire de fin d'études de l'Ecole supérieure d'agriculture d'Angers, France. Angers, France, Esaa, 65 p.
- MICHEL B., TOGOLA, M., TERETA, I., 1996. Projet : lutte intégrée contre les insectes nuisibles du cotonnier - Rapport annuel d'activité, axe de Sikasso, campagne 1995. Ier, Crra de Sikasso, 47 p. (document interne).
- MORALES M.L., 1995. A safe and effective pesticide. Ilica Newsletter, décembre 1995, p. 31.
- OSTERMANN H., 1993. Utilisation des insecticides naturels au Sahel. In Actes de l'Atelier Protection naturelle des végétaux en Afrique, 21-26 octobre 1991, MBour, Sénégal (THIAM A., DUCOMMUN G., eds.). Dakar, Sénégal, Enda tiers-monde, p. 115-128.
- RATNADASS A., Cisse B., DIARRA D. THIERO C.A.T., 1995a. Etude de l'effet insecticide de l'huile de pourghère sur les ravageurs des panicules de

1. Projet UE/4<sup>e</sup> Pcrd : « Amélioration durable de la production de sorgho en Afrique de l'Ouest par la lutte intégrée contre ses insectes ravageurs ». Ce projet est une collaboration entre le Cirad (France), l'Ier et le Cnesoler (Mali), l'Inera (Burkina Faso), et l'université d'Heidelberg (Allemagne).

sorgho. Rapport d'essai (Collaboration Icrisat-Cirad/Projet pourghère/Dnhe/Gtz). Bamako, Mali, Programme conjoint sorgho Icrisat-Cirad, 10 p. (document interne).

RATNADASS A., DIARRA D., Cisse B. TANEJA S.L., 1995b. Development of a cost-effective laboratory technique for continuous mass rearing of *Busseola fusca* on a meridic diet. International Sorghum and Millets Newsletter 36 : 79-81.

RATNADASS A., Cisse B., DIARRA D. THIERO C.A.T., 1997. Utilisation de substances dérivées de plantes pour la protection insecticide du sorgho contre les foreurs de tiges et les ravageurs des panicules. Rapport d'essai (collaboration Icrisat-Cirad/projet pourghère/Dnhe/Gtz). Bamako, Mali, programme conjoint sorgho Icrisat-Cirad, 34 p. (document interne).

RUG M., SPORER F., WINK M., JOURDANE J., HENNING R., RUPEL A., 1997. Investigation of molluscicidal properties of *Jatropha curcas* against snails transmitting human schistosomes. Symposium on bio-fuel and industrial products from *Jatropha curcas* and other tropical oil seed plants. Managua, Nicaragua, 24-25 février 1997.

SHELKE S.S., JAKHAV L.D., SLUNKHE G.N., 1987. Ovicidal action of some vegetable oils and extracts in the storage pest of potato *Phthorimea operculella* Zell. Biovigyanam 13 (1) : 40-41.

SHARMA H.C., LEUSCHNER K., 1983. Insect antifeedants and growth inhibitors from *Azadirachta indica*. Second International neem Conference, 25-28 Mai 1983, Rauish-Holzhausen Castle, Allemagne.

SHARMA H.C., TANEJA S.L., LEUSCHNER K., NWANZE K.F. 1992. Techniques to screen sorghums for resistance to insect pests. Information Bulletin n° 32. Patancheru, India, Icrisat, 48 p.

TRAORE T., 1995. Elevage en masse de *Busseola fusca* (Fuller) (Lepidoptera : Noctuidae), infestation artificielle et criblage variétal du sorgho pour la résistance à ce foreur des tiges. Mémoire de fin d'études de l'Institut polytechnique rural de Katibougou. Koulikoro, Mali, Ipr, 33 p.

ZONGO J.O., VINCENT C., STEWART R.K., 1993. Effects of neem seed kernel extracts on egg and larval survival of the sorghum shoot fly, *Atherigona soccata* Rondani (Dipt., Muscidae). Journal of Applied Entomology 115 : 363-369.



Session III

# Malherbologie



# Le Striga dans les systèmes de production de la zone Mali-Sud

F. GIRAUDY, M. NIANG

Compagnie malienne pour le développement des textiles, Dpcg, Suivi-évaluation, BP 487, Bamako, Mali

D. DEMBELE

Programme conjoint sur le sorgho, Icrisat-Cirad, BP 320, Bamako, Mali

**Résumé** — A la demande du Programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad, le service suivi-évaluation de la Cmdt a intégré, dans son système de suivi, des relevés sur les plantes parasites, notamment les différentes espèces de *Striga*. Les résultats de la campagne 1995-1996 sont présentés ici. Deux espèces ont été rencontrées de manière assez fréquente. Il s'agit de *Striga hermontica* et *S. aspera*, le premier dominant nettement. Des plants de *S. gesnerioides* ont aussi été rencontrés quelquefois sur légumineuses. La présence de *Striga* dans les parcelles de céréales est relativement fréquente, mais les densités et les surfaces infestées sont faibles. Bien qu'il n'y ait pas de tendance géographique très nette, les attaques semblent plus fortes dans la partie nord de la zone Mali-Sud. Des différences entre espèces de céréales existent. Sur maïs, sorgho et mil, le *Striga* est plus fréquent, pour une espèce de céréale donnée, là où elle domine les deux autres. Des cartes de répartition par espèce sont présentées. Le dispositif, tel qu'il est conçu n'est pas un dispositif de recherche dans lequel les facteurs varient indépendamment les uns des autres. Les plantes parasites, telles qu'elles y ont été observées n'ont pas d'influence apparente sur la production. De même, les différents itinéraires techniques suivis par les paysans ne semblent pas influencer la présence de plantes parasites. Le dispositif paraît mieux adapté pour un suivi des infestations dans le temps (prochaines campagnes) que pour une explication des facteurs.

**Abstract** — *Striga* in the production systems of southern Mali. Following a request by the Icrisat-Cirad joint sorghum program, the Cmdt Monitoring/evaluation department included parasitic plants, particularly *Striga* spp. in its follow-up system observations. Results from the 1995-1996 cropping season are presented here. Two species were frequently encountered, namely *Striga hermontica* and *S. aspera*, the former being largely dominant. In addition, *S. gesnerioides* plants were sometimes found on legumes. The presence of *Striga* in cereal fields is relatively common, however densities and areas infested are low. Differences were found between cereal crop species. On maize, sorghum and millet, *Striga* is more common, for a given species of cereal on the predominant cereal. Distribution maps are presented according to crop. The survey design as presented is

not a research design where factors can vary independently one from the other. As per our observations, parasitic plants have no apparent effect on grain yield. Similarly, farmers' cultural practices have no visible effect on the presence of parasitic plants. This design seems to be suitable for a follow-up of infestations over time (e.g. during subsequent cropping seasons), rather than for an explanation of factors.

Dans le cadre de son suivi permanent des systèmes de production, et à la demande du Programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad et de l'Ier, le service suivi-évaluation de la Cmdt a inclus dans son enquête agricole permanente, la collecte d'un certain nombre de données concernant les plantes parasites des cultures.

La méthodologie d'enquête et les principaux résultats sont présentés ici : principales espèces présentes, répartition géographique globale, répartition selon les espèces de céréales et influence sur les systèmes de production.

## Méthodologie

Cette étude a été menée dans les 41 villages-échantillons du service suivi-évaluation de la Cmdt, par les enquêteurs qui y sont affectés. Ces villages représentatifs ont été choisis selon un échantillonnage stratifié, réalisé après un zonage agro-écologique et socio-économique de la région. L'échantillon est considéré comme représentatif des systèmes de production de la zone. C'est pourquoi, à la demande de l'Icrisat-Cirad, des observations ont été menées sur les parcelles de céréales des paysans

suivis, pour déterminer la présence éventuelle de plantes parasites et leur niveau d'infestation.

La formation des enquêteurs de la Cndt sur la reconnaissance des espèces de *Striga* et la conduite des enquêtes a été faite par des agents de l'Icrisat-Cirad et de l'Ier. Les enquêteurs ainsi formés ont ensuite réalisé les observations qui ont été incluses dans l'enquête agricole permanente et traitées avec celle-ci. Les étapes des observations étaient les suivantes :

- identification des espèces présentes dans le champ, la principale et, éventuellement, les secondaires (ce dernier cas étant assez rare) ;
- mesure de la densité de plants de *Striga* dans deux carrés de rendement, à partir d'une échelle de densité de 1 à 5 en fonction de nombre de plants au m<sup>2</sup> ;
- mesure de la densité de *Striga* dans le champ, déduite de l'observation des deux carrés de rendement, le principe de mesure de la densité étant le même que précédemment ; en cas de distorsion entre les deux, le reste du champ donne la note finale ;
- mesure dans le champ, par l'enquêteur, de la surface infestée par rapport à la surface totale, c'est-à-dire le pourcentage du champ sur lequel se trouvent des plantes parasites, quelle qu'en soit la densité.

## Principales espèces présentes

Les principales espèces rencontrées sont essentiellement *S. hermontica* et *S. aspera*. Il arrive plus rarement de trouver *S. gesnerioides* sur légumineuses. Quelques enquêteurs en ont identifiés sur céréales, mais il peut s'agir d'une erreur.

*Striga hermontica* est l'espèce la plus répandue. Sur l'ensemble des champs infestés, elle est présente dans plus de 90 % des cas pour le sorgho et le mil et 87 % pour le maïs. La fréquence est inférieure seulement sur les parcelles de maïs de Bougouni (69 %), mais aussi sur les parcelles de mil de Sikasso.

*Striga aspera* est beaucoup plus rare. Néanmoins, il arrive de la rencontrer avec une certaine fréquence, notamment sur les parcelles de maïs de la région de Bougouni, parfois aussi à Fana et sur les parcelles de mil de la région de Sikasso.

## Répartition géographique globale

D'une manière générale, les attaques de plantes parasites ne semblent pas avoir une importance majeure dans la zone. La présence de plants de *Striga* est relativement fréquente, mais les densités et les surfaces infestées sont faibles.

Par exemple, sur sorgho, qui semble être la plante la plus infestée, des plantes parasites ont été identifiées dans 43 % des parcelles suivies, mais dans 31 % (du global), la densité était d'environ un plant par m<sup>2</sup>, ce qui n'a certainement aucune influence globale sur la production de grains. C'est seulement sur 5 % des parcelles que l'on a observé plus de 10 plants par m<sup>2</sup> et seulement sur 2 % plus de 30 plants par m<sup>2</sup>.

La répartition sur maïs et mil est à peu près la même, à des niveaux encore inférieurs. Sur le riz, des plantes parasites n'ont été observées que sur 9 % des parcelles et, dans aucun cas, à plus de 10 plants par m<sup>2</sup>. Enfin, sur légumineuses, 94 % des parcelles sont totalement exemptes de plantes parasites. De même, en ce qui concerne la surface infestée par rapport à la surface totale, dans la plupart des cas, les résultats sont compris entre 0 et 25 %.

La figure 1 montre que globalement, sur l'ensemble de la zone d'étude, les plantes parasites ne semblent pas avoir de préférences géographiques très nettes. Elles se rencontrent dans toutes les régions, jamais de façon extrêmement virulente. Quelques villages sont particulièrement touchés, mais, à première vue, pas de façon systématique sur une région ou même un secteur.

Malgré ces réserves, il semble bien que les attaques soient plus fortes dans le nord (de la zone Mali-Sud), en particulier dans la région de San et surtout dans les secteurs de Kimparana, San et Tominian ou dans le nord des régions de Fana et de Koutiala. Il convient de noter qu'il s'agit de zones avec peu ou pas du tout de coton et que les systèmes de production y sont fort peu intensifiés. Inversement, la région de Sikasso semble moins touchée que les autres (mais il y existe des villages à forte présence).

## Répartition selon les espèces de céréales (maïs, sorgho ou mil)

La répartition du *Striga* n'est pas la même selon les espèces hôtes, à savoir essentiellement le maïs, le mil et le sorgho. D'une manière générale, ce qui semble apparaître, c'est que la présence de *Striga* est plus forte, en pourcentage, là où l'espèce de céréale étudiée est la plus présente. Le maïs est donc plus parasité au sud, le mil au nord et le sorgho un peu partout, ce qui correspond à leurs zones de prédilection (figure 2 à 4 ; Giraudy et al., 1997<sup>1</sup>).

1. Giraudy F., Gigou J. et Niang M., 1997. Le sorgho et les autres céréales dans les systèmes de culture de la zone Mali-Sud. Communication présentée à l'Atelier de restitution du Programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad, Bamako, Mali, 17-20 mars 1997.



Ainsi, la figure 2 montre que le maïs est généralement plus touché dans les régions de Sikasso et Bougouni, à l'exception notable du secteur de Yanfolila. A l'inverse, il est extrêmement rare de rencontrer du *Striga* dans la région de San. Cela peut s'expliquer par le fait que le maïs dans cette région est essentiellement cultivé en champs de case et non en grandes cultures, ce qui fait qu'il bénéficie d'apports réguliers de fumure organique et de soins plus intenses. Il est, de ce fait, moins exposé aux attaques de plantes parasites.

La figure 3 montre que le sorgho, présent dans tous les systèmes de production de la zone

Mali-Sud, est partout plus ou moins parasité par le *Striga*. Il est toutefois intéressant de noter que dans la plupart des villages-échantillons de la région de Sikasso, dans les systèmes desquels il joue un rôle moins important, les taux de parasitisme sont extrêmement faibles, y compris dans certains villages où le maïs et même le mil sont attaqués.

De même, la figure 4 montre que le mil, qui, comme le sorgho, est présent un peu partout dans les systèmes de production, est attaqué surtout dans les zones où il est dominant. Ainsi, les attaques sont assez fortes principalement

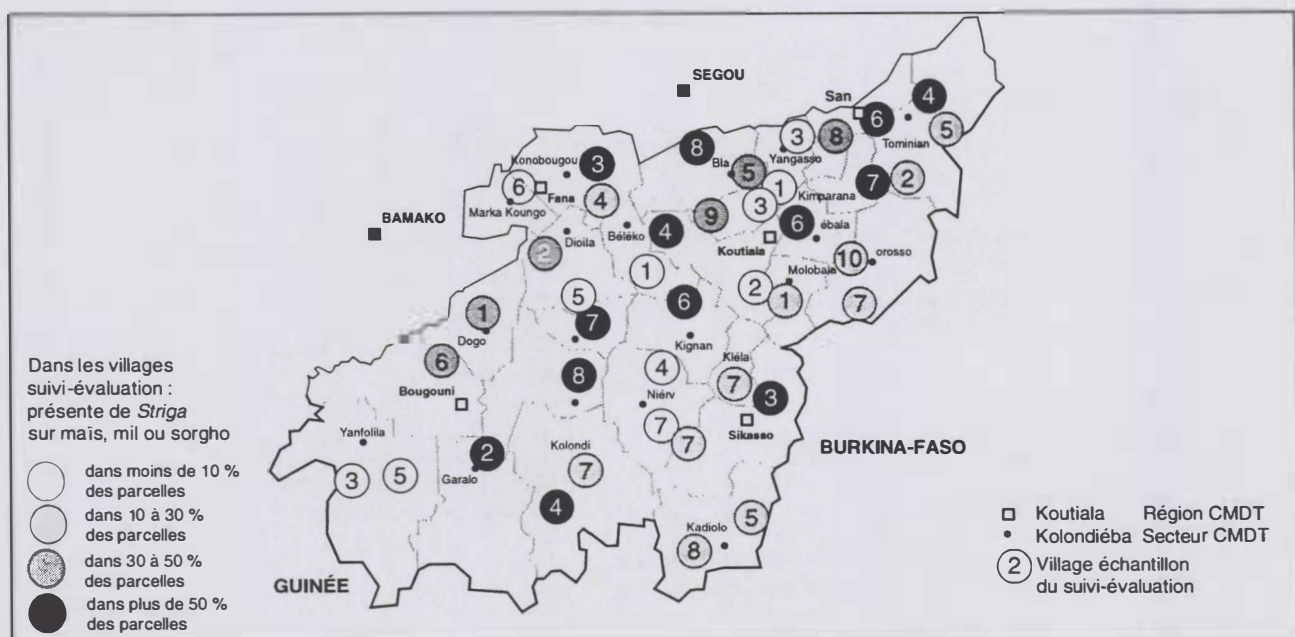


Figure 1. Présence de *Striga* sur céréales en zone Mali-Sud.

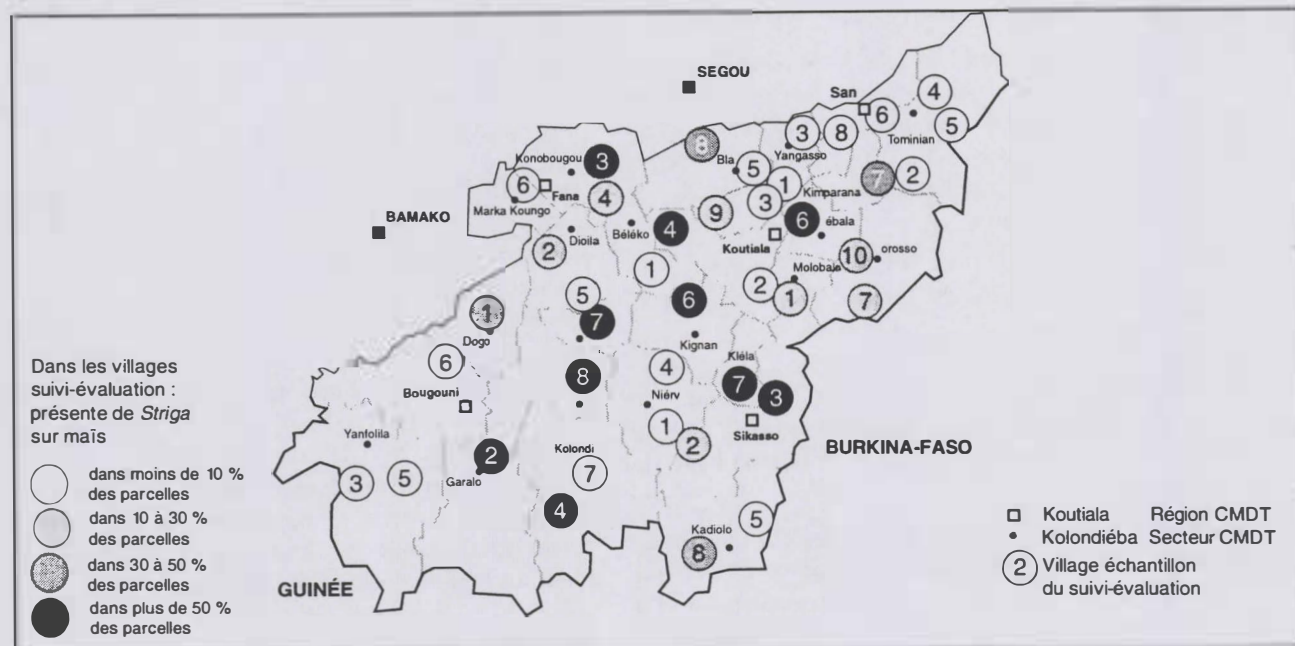


Figure 2. Présence de *Striga* sur maïs en zone Mali-Sud.

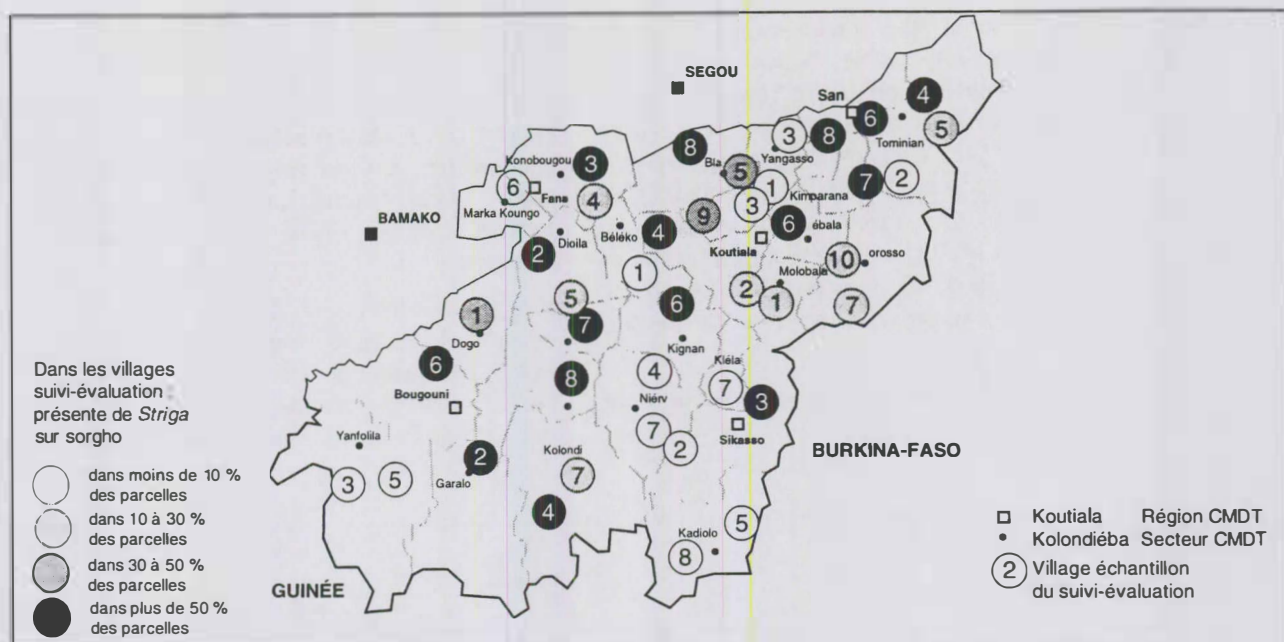


Figure 3. Présence de *Striga* sur sorgho en zone Mali-Sud.

dans une bande comprenant la région de San, les secteurs de Zébala, Mpepassoba et Bla dans la région de Koutiala et le nord du secteur de Konobougou.

## Influence des systèmes de production

Le premier constat est qu'aucune différence significative n'est observée entre le rendement des parcelles où le *Striga* est présent et celui de celles dont il est absent (tableau I). Cela ne veut toutefois pas forcément dire que le *Striga* n'a aucune influence sur le rendement, comme on le verra par la suite.

De même, nous avons cherché à détecter des relations entre diverses pratiques et la présence ou l'absence de *Striga*. En fait, aucune des explications classiques sur les facteurs influant la présence de *Striga* sur les parcelles n'a réellement pu être observée sur le dispositif d'enquête.

Cependant, en classant les villages selon le degré de présence de *Striga* sur le terroir en trois groupes (faible, moyen, fort), il apparaît une légère influence de l'âge de la parcelle et de l'apport de fumure organique, comme le montre la figure 5. L'influence paraît plus nette dans le groupe moyen (avec tout de même un point aberrant en ce qui concerne l'âge de la parcelle).

Les conclusions de cette étude sur les conséquences de la présence de *Striga* sur les rendements doivent toutefois être examinées avec circonspection. En effet, il ne s'agit aucunement d'un dispositif de recherche, dans lequel il est possible de faire varier

Tableau I. Influence apparente de la densité de *Striga* sur les rendements céréaliers.

	Mil	Sorgho	Maïs
Pas de <i>Striga</i>	763	802	1 400
Faible	894	897	1 523
Fort	542	949	1 521

Faible : 1 à 10 plants par m<sup>2</sup>.

Fort : plus de 10 plants par m<sup>2</sup>.

un facteur indépendamment de tous les autres. Il s'agit ici, d'un dispositif d'observation des pratiques paysannes, aussi les facteurs ne sont-ils pas indépendants et la présence de *Striga* peut-elle être aussi l'indicateur d'un autre facteur (technique culturale, meilleure gestion du calendrier) qui influencerait favorablement le rendement.

Le meilleur exemple de ces biais introduits sur les conclusions dans les dispositifs d'observation est l'effet de la fumure organique sur le rendement : il est connu que l'apport de fumure organique a un effet bénéfique sur la production. Or, sur le dispositif d'enquête de la Cmdt, les parcelles ayant bénéficié de l'apport de fumure organique ont un rendement inférieur à celles qui n'en ont pas reçu. Cela ne signifie en aucun cas que la fumure organique a un effet dépressur sur le rendement. En fait, les paysans mettent généralement la fumure organique sur leurs terres qui commencent à s'épuiser. Il est donc logique de trouver des rendements inférieurs.

Dans le cas du *Striga*, il est fort probable que des facteurs non encore identifiés viennent perturber

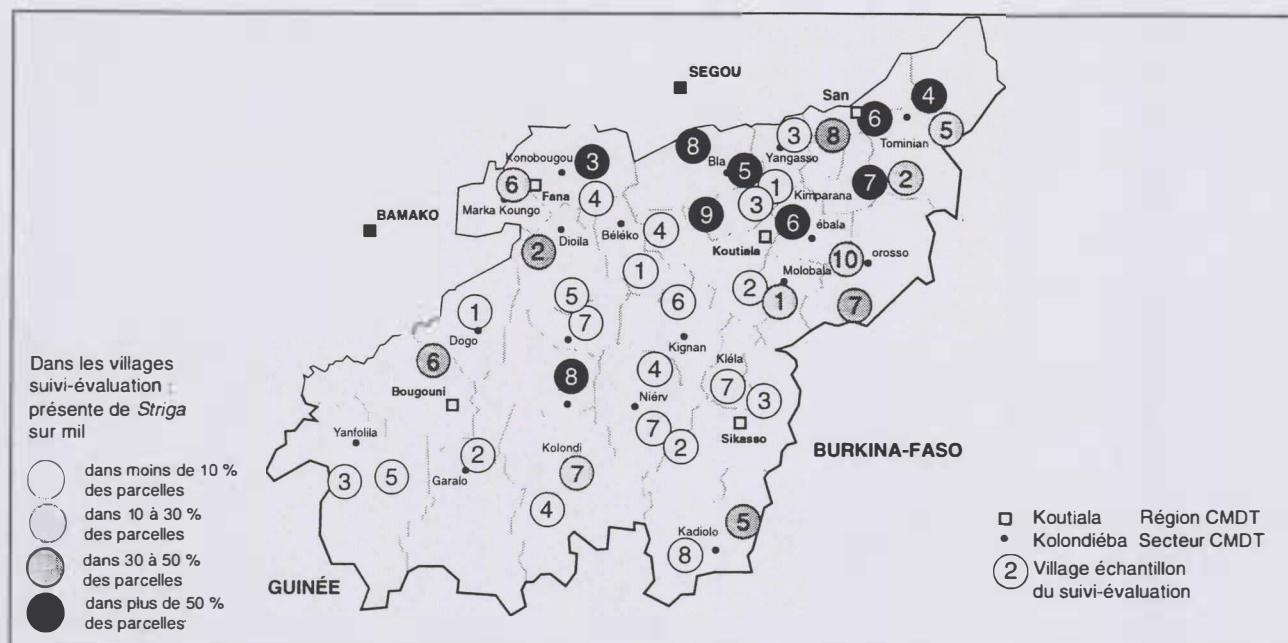


Figure 4. Présence de *Striga* sur mil en zone Mali-Sud.

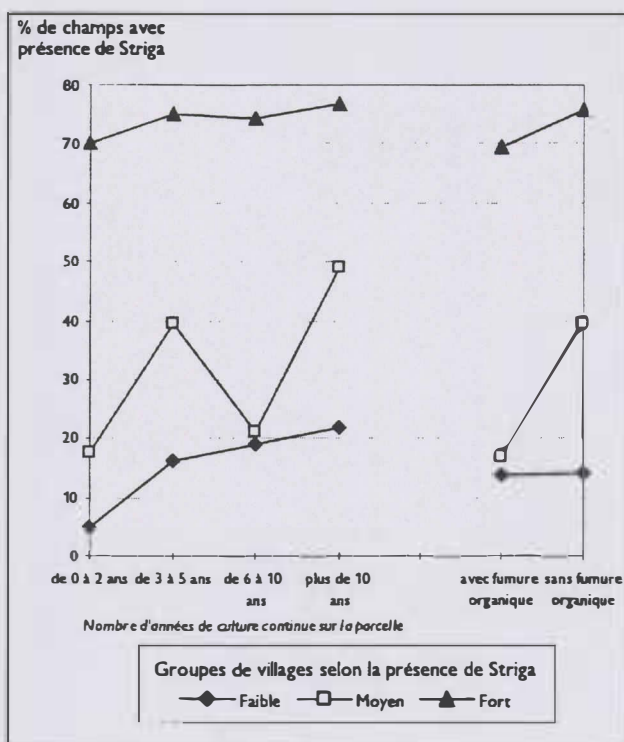


Figure 5. Influence de l'âge des champs et de l'apport de fumure organique sur la présence de *Striga*.

l'influence apparente des plantes parasites sur la production.

## Conclusions

Bien qu'assez fréquent, le *Striga* ne semble pas être un facteur extrêmement important dans les systèmes de production de la zone. S'il est possible de le rencontrer un peu partout, rares sont les villages de l'échantillon où il a une grande importance. Il est néanmoins plus fréquent dans la partie nord (systèmes plus céréaliers et moins intensifs), notamment sur le mil.

Le dispositif de suivi mis en place ne permet pas, dans un premier temps, de conclure quant à son influence sur la production de céréales. En effet, peu de différences notables ont été observées sur les rendements en céréales selon que la parcelle a été infestée ou non et selon la densité de cette infestation. De même, peu de différences ont été observées pour les différents itinéraires techniques suivis. Cependant, le dispositif d'observation n'a pas été créé dans ce but et ne permet pas de conclure.

Il devrait néanmoins pouvoir nous renseigner sur son évolution dans le temps. L'échantillon de villages du suivi-évaluation a été changé en 1995-1996. Il est donc difficile de mesurer l'évolution dans le temps entre les deux campagnes de suivi (ce dernier a commencé depuis la campagne 1994-1995, mais sur un autre échantillon de villages. Cependant, au fil du temps, cet observatoire que constitue le dispositif d'enquête de la Cmdt devrait permettre de renseigner sur les évolutions des infestations en fonction des campagnes (y a-t-il réellement des « années à *Striga* » et si oui, quels en sont les facteurs déclencheurs — cycle, climat... ?).



# T

## ests d'utilisation d'herbicides pour la lutte contre *Striga hermonthica*\*

\* Cette communication a donné lieu à un article paru dans la revue *Agriculture et développement*.  
G. Hoffmann, P. Marnotte, D. Dembélé, 1997. Emploi d'herbicides pour lutter contre *Striga hermonthica*.  
*Agriculture et développement* 13 : 58-62.

G. HOFFMANN<sup>1, 2</sup>, P. MARNOTTE<sup>3</sup>, P. GRARD<sup>1</sup>, D. DEMBELE<sup>1</sup>

1. Icrisat-Cirad, BP 320, Bamako, Mali

2. Nouvelle adresse : 22 rue de Lamballe, 45400 Fleury-les-Aubrais, France

3. Cirad-ca, Amatrop, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

**Résumé** — La lutte contre le *Striga* explore trois voies complémentaires : la sélection de variétés tolérantes, les méthodes agronomiques de gestion de la culture, et enfin la destruction des parties aériennes du parasite, par sarclage-arrachage ou à l'aide d'herbicides chimiques. Les travaux présentés concernent les tests de lutte chimique contre le *Striga*, effectués en milieu paysan au Mali, de 1989 à 1993, dans le cadre du programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad. Ils n'ont, dans un premier temps, concerné que le 2,4,5-T, seul herbicide de post-levée anti-dicotylédones. Par la suite, les traitements ont été réalisés avec la forme amine du 2,4-D, efficace sur les dicotylédones et certaines cypéracées, et moins volatile que la forme ester. La nuisibilité du *Striga* se manifestant dès la fixation de la plantule sur la plante-hôte, des tests d'application précoce d'herbicide en prélevée du *Striga* ont été effectués. Il ont montré que la pulvérisation de 2,4-D 30 jours après semis, directement sur la culture (sorgho et maïs) retardait l'apparition du *Striga* et en diminuait la densité. Des tests ont montré qu'une double application d'herbicide sur les cultures de sorgho, en pré et post-levée du *Striga*, permettait d'éliminer presque complètement le parasite et d'augmenter le rendement de plus de 200 %. La nécessité d'élargir la gamme des herbicides nous a par ailleurs amenés à tester d'autres molécules.

**Abstract** — Application of herbicides to control *Striga hermonthica*. Three complementary approaches are explored simultaneously in view of controlling *Striga*: screening-breeding tolerant crop varieties, agronomic crop management methods, and destruction of the aerial portion of the parasite by weeding-handpulling or by using chemical herbicides. Results presented relate to chemical tests for *Striga* control, carried out on-farm in Mali from 1989-1993, as part of the Icrisat-Cirad Joint Sorghum Program. At first, 2,4,5-T alone was involved, as the only post-emergence anti-dicotyledon herbicide. Later tests were conducted using the amine form of 2,4-D, effective on dicotyledons and some *Cyperaceae*, and less volatile than the ester form. Since *Striga* damages its host as

soon as parasite seedling attach to the host root, tests were carried out on early herbicidal application (before *Striga* emergence). They showed that spraying 2,4-D directly on the crop (sorghum and maize) 30 days after sowing, delayed the emergence and reduced the density of *Striga* plants. Further tests showed that a double herbicidal application on the sorghum crop, namely both prior to, and after *Striga* emergence, resulted in a virtual eradication of the parasite, and in a yield gain of more than 200%. On the other hand, in view of broadening the range of herbicides, tests were also conducted on other molecules.

Les *Striga*, de la famille des *Scrofulariaceae*, sont des plantes parasites épirhizes, qui constituent un genre essentiellement africain, avec cependant une extension en Asie ; de plus, *S. lutea* et *S. gesnerioides* ont été introduits en Amérique du Nord (Musselmann, 1994).

Quatre espèces présentent une importance pour les cultures en Afrique de l'Ouest : *S. gesnerioides* (Willd.) Vatke, *S. lutea* Lour. (syn. *S. asiatica* (L.) Kuntze var. *lutea* Kuntze), *S. aspera* (Willd.) Benth. et *S. hermonthica* (Del.) Benth.

*S. hermonthica*, *S. aspera*, et *S. lutea* sont des hémiparasites sur les cultures de céréales (sorgho, maïs, mil), alors que *S. gesnerioides* est un holoparasite sur niébé.

Le cycle de *S. hermonthica* s'articule sur deux stades : d'une part, vers 35 - 45 Jas (jours après semis) l'apparition des premières plantules après la phase souterraine, et d'autre part, le début de la floraison qui commence vers 65 - 75 Jas.

La mise au point des techniques de lutte contre les *Striga* explore trois voies complémentaires (figure 1) :

- la plante cultivée par la sélection de variétés tolérantes ;
- le milieu cultivé par des méthodes de luttes agronomiques (cultures associées et rotation de culture piège, date de semis, fertilisation et fumure, travail du sol et paillage) : les *Striga* se développent d'autant plus que les conditions de culture sont défavorables ; il est donc très important d'améliorer la fertilité du sol (niveau global de fertilisation, correction de l'acidité...), plus particulièrement en augmentant l'apport d'azote ;
- les *Striga*, eux-mêmes, par destruction des parties aériennes : arrachage, sarclage, désherbage chimique : bien que la nuisibilité des *Striga* se manifeste dès la fixation de la plantule sur la plante-hôte au cours de la phase souterraine de développement, il est important de détruire les parties aériennes, afin de limiter cette période de concurrence et surtout d'empêcher la production de semences du parasite. L'arrachage ou le sarclage, qui permet d'éliminer les parties aériennes des *Striga*, doit être réalisé entre 50 et 70 Jas : plus précoce, l'intervention favorise de nouvelles levées de la population de *Striga* et plus tardive, elle n'empêche pas la production de graines du parasite. Les applications d'herbicides de post-levée peuvent être effectuées dans les mêmes conditions que les sarclages.

## Application d'herbicides en post-levée du *Striga*

Les travaux, rapportés ici, ont été conduits dans le cadre du projet conjoint sur le sorgho, qui a été lancé par le Cirad-Ca et l'Icrisat avec pour objectif final de proposer aux agriculteurs un ensemble de variétés et de techniques permettant l'amélioration de systèmes de culture à base de sorgho faiblement ou moyennement intensifiés.

Les premiers résultats sont extraits d'un essai de lutte intégrée contre *S. hermonthica* en culture de sorgho qui mettait en œuvre plusieurs méthodes d'intervention : variétés résistantes, paillage, sarclage et herbicides (Hoffmann, 1994). Cet essai, disposé en split-plot à cinq répétitions, a été implanté sur le terroir du village de Sido, au nord de Bamako.

En 1989 et 1990, c'est le 2,4,5-T, seul herbicide de post-levée anti-dicotylédones disponible, qui a été employé respectivement aux doses de 500 et 900 g/ha ; puis, en 1991, le traitement a été réalisé avec le 2,4-D amine<sup>(1)</sup> à la dose de 1 440 g/ha. Ces applications d'herbicides ont été effectuées à la même époque que les sarclages, au début de la floraison du *Striga*, c'est-à-dire en post-levée du *Striga*

environ 70 Jas (64 Jas en 1989, 80 Jas en 1990, 72 Jas en 1991).

Les comptages de *Striga*, effectués une vingtaine de jours après l'application d'herbicides (tableau I) mettent en évidence l'efficacité du traitement, la réduction de la densité du parasite étant de 66 %, 33 % et 84 % respectivement pour 1989, 1990 et 1991.

Pour chacune des trois années d'essai, le traitement herbicide, comme le sarclage, a permis d'augmenter nettement la production de la culture (tableau II) : les augmentations de production des parcelles traitées par rapport au témoin sont de + 93 %, + 63 % et + 37 % respectivement pour 1989, 1990 et 1991.

## Application précoce en pré-levée du *Striga*

La nuisibilité des *Striga* se produisant dès la fixation de la plantule sur la plante-hôte au cours de la phase souterraine de développement, il semblait souhaitable de pouvoir intervenir avant l'apparition des parties aériennes ; c'est pourquoi une série de tests a été entreprise en milieu paysan (tableau III) afin d'estimer l'intérêt d'une pulvérisation à 30 Jas, directement sur la culture (Korwar et Friesen, 1984).

Des tests, conduits en 1993 dans la région de Sikasso (Sud-Mali) en culture de maïs et de sorgho, ont porté sur l'action du 2,4-D appliqué à la dose de 1 080 g/ha en pré-levée de *S. hermonthica* (c'est-à-dire à 30 Jas).

Un comptage à 65 Jas (figure 2) a montré une réduction du nombre de *Striga*/m<sup>2</sup> de 68 % dans le maïs et de 48 % dans le sorgho.

En collaboration avec le Drspr de l'Ier<sup>(2)</sup>, des tests ont été menés en 1993 en milieu paysan (Kadiolo - Sud-Mali) pour vérifier l'efficacité du 2,4-D sur *S. hermonthica* en culture de maïs et sorgho, appliqué soit en pré-levée (à 30 Jas), soit en post-levée (à 70 Jas). Le traitement à 30 Jas provoque un retard de l'apparition du *Striga* (5 jours pour le sorgho et 13 jours pour le maïs) et diminue la densité de *Striga*, comme le montre le tableau IV pour un comptage à 85 Jas.

1. Le 2,4-D amine, moins volatile que la forme ester, est utilisé en post-levée pour son efficacité sur les dicotylédones et certaines cypéracées. Cet herbicide étant très phytotoxique sur les cultures dicotylédones (cotonnier, arachide, niébé, cultures maraîchères...), il est indispensable de faire très attention aux risques de dérive sur les cultures voisines lors d'une pulvérisation.

2. Drspr : département de recherche sur les systèmes de production rurale.

Ier : Institut d'économie rurale (Mali).

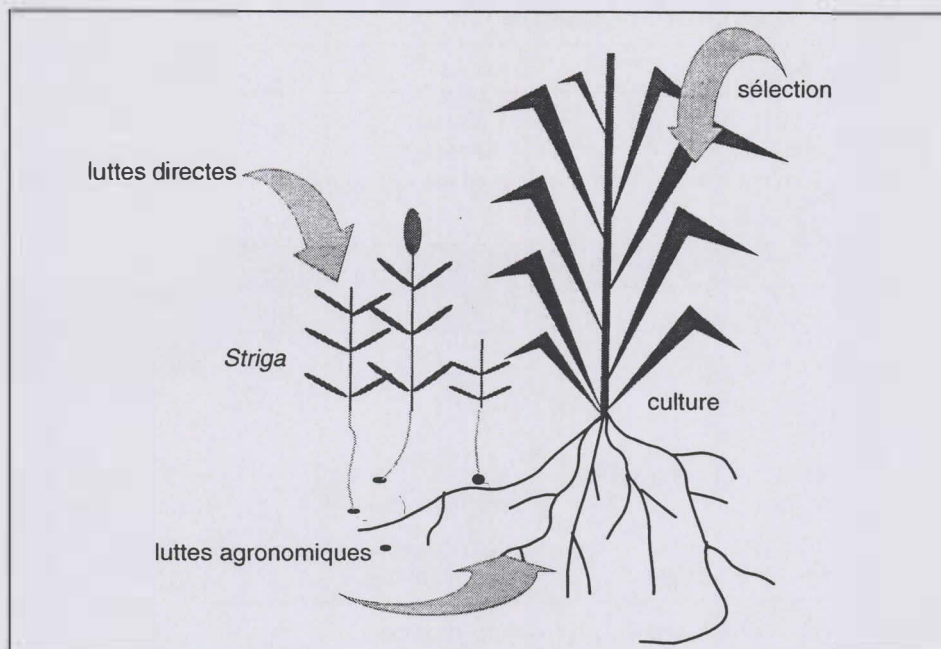


Figure 1. Les techniques de lutte contre le Striga.

Tableau I. Nombre de *Striga*/m<sup>2</sup>.

Année	Herbicide	Témoin
1989	26	78
1990	68	103
1991	10	63

Tableau II. Production du sorgho (kg/ha).

Année	Sarclage	Herbicide	Témoin
1989	825	792	409
1990	720	673	412
1991	1 525	1 448	1 054

## Doublement d'application

Des tests, conduits en 1992 en culture de sorgho, ont montré la complémentarité d'une double application de 1 440 g/ha 2,4-D, la première en pré-levée du *Striga* (à 35 Jas) et la seconde en post-levée (à 70 Jas). Si l'application de 2,4-D en pré-levée du *Striga* (tableau V) réduit la densité de *Striga* de 54 % et permet un gain de production de 81 %, l'association des deux traitements a quasiment éliminé le parasite (- 96 %) et augmente le rendement de 232 %.

## Elargissement de la gamme des herbicides

Les conditions agronomiques et économiques, dont dépend la rentabilité d'une application d'herbicide, évoluent extrêmement rapidement, alors que la série de tests sur le comportement d'un herbicide exige, dans le meilleur des cas, au moins trois années. Il faut donc par une expérimentation régulière constituer un référentiel technique fiable sur le désherbage chimique, dans lequel on puisse trouver des solutions adaptées au fur et à mesure de l'évolution du milieu agricole. Cette acquisition d'informations doit porter notamment sur les nouvelles familles d'herbicides, qui sont sans cesse mises à jour.

Afin d'élargir la gamme des produits herbicides disponibles, un test a été conduit en milieu paysan au

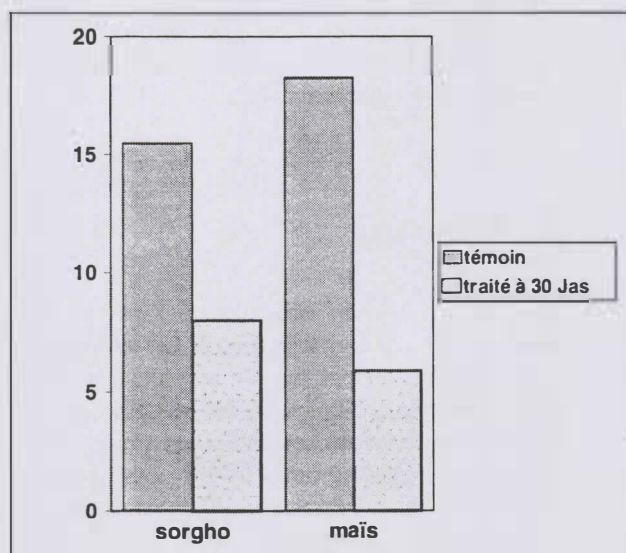


Figure 2. Application de 2,4-D en pré-levée sur *S. hermonthica* (sorgho et maïs). Nombre de pieds/m<sup>2</sup> à 65 Jas.



Tableau III. Conditions expérimentales des tests en milieu paysan de 1993.

Localisation	Sikasso	Kadiolo	Sona
Pluviométrie	1 100 mm	1 200 mm	1 100 mm
Cultures	maïs sorgho	maïs sorgho	maïs sorgho
Répétitions	8 en maïs, 4 en sorgho	9 en maïs, 9 en sorgho	4 en maïs, 6 en sorgho
Traitements			
2,4-D (1 080 g/ha) à 30 Jas			
2,4-D (1 440 g/ha) à 70 Jas			
2,4-D+triclopyr à 70 Jas			
Engrais			
Npk (15-15-15)	maïs : 100 kg/ha + 46N sorgho : aucun	maïs : 100 kg/ha, sorgho : aucun	maïs : 100 kg/ha sorgho : aucun
Date de semis	10-20/06 : maïs, 20-30/06 : sorgho	20-31/05 : maïs, 10-20/06 : sorgho	10-20/06 : maïs, 12-18/07 : sorgho

Les tests sont disposés en blocs dispersés : chaque paysan constitue une répétition.  
Les parcelles élémentaires mesurent 10 m x 10 m.

Tableau IV. Nombre de *Striga* / m<sup>2</sup> à 85 Jas, 2,4-D appliqué en pré-levée ou en post-levée de *Striga*.

Culture	Témoin	A 30 Jas à 1 080 g/ha	A 70 Jas à 1 440 g/ha
Sorgho	7,3	3,9	1,3
Maïs	5,8	3,8	0,9

Tableau V. Application de 2,4-D en pré-levée et en post-levée de *S. hermonthica*.

	35 Jas	Témoin	35 et 70 Jas	Témoin
Nombre de <i>Striga</i> /m <sup>2</sup>	33	72	4	90
Production du sorgho (kg/ha)	747	413	724	218

Tableau VI. Application de 2,4-D et de la combinaison (2,4-D + triclopyr), en post-levée de *S. hermonthica*.

Culture	Traitement	Dose (g/ha)	Densité <i>Striga</i> nb/m <sup>2</sup>	Production culture (kg/ha)
Sorgho	(triclopyr + 2,4-D)	128 + 334	0,5 a	749
	2,4-D	1 440	0,7 a	587
	témoin	-	41,5 b	647
Maïs	(triclopyr + 2,4-D)	128 + 334	2 a	2 900 c
	2,4-D	1 440	3 a	2 400 b
	témoin	-	195 b	1 990 a

Les traitements suivis de la même lettre  
sont significativement différents.

Sud-Mali, région frontalière avec le Burkina Faso (tableau III) en 1993 pour estimer l'efficacité de la combinaison (triclopyr + 2,4-D)<sup>(4)</sup> sur *S. hermonthica* en application de post-levée (à 70 Jas) en culture de maïs et de sorgho.

Le tableau VI donne les doses de produits testées en comparaison avec le 2,4-D amine, ainsi que la densité de *Striga* après les traitements et la production des cultures. Le comptage du nombre de pieds de *Striga* montre que la combinaison (triclopyr + 2,4-D) a eu le même niveau d'efficacité que le 2,4-D seul.

Pour la culture de maïs, les traitements herbicides ont permis une augmentation significative de la production de la culture : + 21 % pour le 2,4-D et + 46 % pour la combinaison (triclopyr + 2,4-D).

## Conclusions

Ces expérimentations ont montré l'intérêt pratique de l'utilisation d'herbicides pour la lutte contre *S. hermonthica* dans les cultures de céréales. Les paysans, chez qui les tests étaient installés, se sont bien aperçu que *S. hermonthica* n'était pas une fatalité irrémédiable, mais qu'une action était possible pour sa destruction (Korwar et Friesen, 1984). En zone soudanienne du Sud-Mali, où le sorgho est cultivé en rotation avec le cotonnier et le maïs, les solutions vulgarisables peuvent faire appel à des techniques intensives, comme l'amélioration de la fertilité des

sols ou l'emploi des herbicides (Carsky, 1994). Il est indispensable de sensibiliser l'agriculteur aux risques de contamination de ses parcelles par ces mauvaises herbes dangereuses. De plus, si la lutte contre ces espèces est entreprise dès les premiers stades de l'infestation par des désherbages localisés aux quelques individus repérés sur la parcelle, sans attendre que la population n'atteigne le seuil de nuisibilité, le coût des moyens à mettre en œuvre sera toujours limité.

## Références bibliographiques

CARSKY R.J., SINGH L., NDIKAWA R., 1994. Effect of herbicide and handweeding on current and subse-

quent season *Striga hermonthica* density on sorghum. Int. J. Pest Management 40 (2) : 111-116.

HOFFMANN G., 1994. Contribution à l'étude des phanérogames parasites du Burkina-Faso et du Mali : quelques aspects de leur écologie, biologie et techniques de lutte. Thèse université Aix-Marseille III, 177 p.

KORWAR G.R., FRIESEN G.H., 1984. Control of witchweed (*Striga asiatica*) in sorghum. Trop. Pest. Manag. 30 : 14-17.

MUSSELMAN L.J., 1994. *Striga* species. In LABRADA R., CASELEY J.C. and PARKER C. (Ed.) Weed management for developing countries. Fao Rome 1994, p.156-160.

# La combinaison de l'association de cultures sorgho-niébé et de l'inoculation avec *Fusarium oxysporum* pour la lutte intégrée contre *Striga hermonthica* (Del.) Benth. au Mali

C. DIARRA

Institut d'économie rurale, station de recherche agronomique de Cinzana, BP 214, Ségou, Mali

**Résumé** — Les mils, sorgho et niébé sont la principale source de nutrition des populations au Mali. Un genre de mauvaise herbe parasite, le *Striga*, constitue l'une des principales contraintes biologiques à leur production et menace la durabilité des systèmes de production rurale. De nos jours, il n'existe aucune méthode de lutte simple et économique, qui puisse à elle seule réduire l'extension du *Striga*, notamment de *S. hermonthica*. Toute stratégie de lutte contre ce parasite au Mali doit être orientée vers une intégration de plusieurs techniques. En 1996 à Cinzana, l'incorporation de 450 et 600 kg/ha de glumes de sorgho colonisés par l'isolat M12-4A de *Fusarium oxysporum* a réduit de plus de 70 % le nombre de plants de *Striga* émergés durant la saison culturale et augmenté le rendement en grain du sorgho de plus de 80 % comparé au témoin. Une combinaison du mode d'association sorgho-niébé (interligne et interpoquet) avec des doses croissantes d'inoculum s'est révélée une méthode prometteuse de lutte contre le parasite. Des études supplémentaires doivent porter sur la production d'inoculum à grande échelle et à la portée technique et économique des paysans.

**Abstract** — Sorghum-cowpea intercropping and inoculation with *Fusarium oxysporum* for the integrated management of *Striga hermonthica* (Del.) Benth. in Mali. Millet, sorghum and cowpea are the principal food crops for Malian populations. Parasitic weeds of the genus *Striga* are among the main biological constraints to their production and threaten the sustainability of rural production systems. Nowadays, there is no single, cheap and effective control method to reduce the spread of *Striga*, notably *S. hermonthica*. Any control strategy aiming at controlling parasitic weeds in Mali must focus on the integration of several measures. The incorporation of 450 and 600 kg/ha of sorghum glumes colonized by isolate M12-4A of *Fusarium oxysporum* reduced *Striga* emergence up to 70% during the cropping season and increased sorghum grain yield up to 80% compared to the control. A combination of inoculation by the biocontrol agent and sorghum-cowpea intercrop-

ping is a very promising control measure for this parasite. Further studies should address the techniques and cost of production of a large amounts of inoculum, which must be feasible for subsistence farmers.

Les plantes parasites menacent la survie de plus de 100 millions de personnes en Afrique et infestent 40 % des terres arables dans les régions de savane (Mboob, 1986 ; Diarra, 1995). Les deux tiers des 73 millions d'hectares de terres cultivées en céréales sont sérieusement infestées en *Striga*. Les dégâts sont particulièrement ressentis dans les zones soudano-sahéliennes à cause de l'insuffisance et l'irrégularité des pluies. La perte de grains due au *Striga* est de l'ordre de 7 millions de dollars US (Mboob, 1986). Au Mali, les pertes de rendement se situent entre 20 et 100 % selon la gravité du problème et 75 à 100 % des champs sont infestés (Konaté, 1986).

Plusieurs zones non infestées sont considérées à risque pour l'extension du *Striga* à cause des pratiques culturales favorables à l'infestation (Hoffmann et Diarra, 1994 ; Hoffmann *et al.*, 1994). De nombreuses méthodes de lutte ont été mises au point. Cependant la plupart de ces méthodes ont très vite atteint leur limite et le danger reste toujours présent. De nos jours, il n'existe aucune méthode de lutte simple efficace, peu coûteuse pour contrôler *Striga hermonthica*.

Par ailleurs, l'isolat M12-4A de *Fusarium oxysporum* natif du Mali a démontré clairement son efficacité dans la lutte contre *S. hermonthica* dans les zones nord-soudanienne et sud-soudanienne du Mali, à plu-



viométries comprises respectivement entre 600 et 1 000 mm, et entre 1 000 et 1 200 mm, durant les saisons culturales 1994, 1995 et 1996 (Diarra, 1995, 1996 ; Diarra *et al.*, 1996a, 1996b ; Ciotola *et al.*, 1996) tout en étant sans danger pour les principales cultures économiques du Mali sorgho, mil, maïs, riz, fonio, coton, niébé, arachide, gombo et oseille (Ciotola *et al.*, 1995 ; Diarra 1995, 1996 ; Diarra *et al.*, 1996a). Des études ont montré que cet isolat n'était dangereux ni pour l'homme ni pour les animaux (Savard *et al.*, sous presse).

Par ailleurs, les arrangements de l'association sorgho-niébé (en interligne et en interpoquet) se sont montrés très efficaces dans la lutte contre *S. hermonthica* (Carsky *et al.*, 1994 ; Dembélé et Kayentao, 1996). Une intégration de ces deux méthodes apparaît judicieuse. L'objectif de cette étude est d'évaluer la dose optimale d'inoculum dans l'association sorgho-niébé en termes de réduction de la croissance du *Striga* et d'augmentation du rendement en grain du sorgho.

## Matériels et méthodes

### Préparation de substrat de culture (glumes)

Après le battage du sorgho, les glumes sont récupérées pour servir de substrat. Le champignon pouvant mener une vie saprophytique est cultivé sur les glumes en vue d'une production à grande échelle d'inoculum.

Quarante grammes de glumes sont pesés et mis dans des récipients cylindriques que l'on remplit d'eau. Le trempage s'effectue pendant 24 h et l'excès d'eau est enlevé le lendemain. Chaque récipient est fermé avec un couvercle filtre perméable aux gaz mais qui empêche les contaminations. Tous les récipients sont stérilisés dans une cocotte où ils sont soumis à une température de 121 °C et une pression d'une atmosphère pendant 20 mn.

### Inoculation de *Fusarium oxysporum* isolat M12-4A

Les glumes stérilisées sont inoculées après refroidissement total. Six à huit rondelles de mycélium prélevées dans les cultures primaires de l'isolat M12-4A de *F. oxysporum* sont inoculées dans chaque récipient cylindrique. Cinq jours de croissance et un brassage journalier des récipients permettent d'obtenir une colonisation totale du substrat.

Pour les glumes, la solution de suspension peut être utilisée. Elle est obtenue en mettant 0,5 ml d'eau stérilisée dans une boîte de Pétri contenant l'inoculum primaire et en la secouant pour avoir suffisamment de spores dans la solution. La solution ainsi formée d'une concentration de  $10^5$  spores /ml est utilisée pour inoculer les glumes de sorgho. Cette technique contrairement à la précédente ne nécessite pas de brassage journalier et une période de 5 jours suffit pour obtenir l'inoculum prêt à être incorporé dans le sol. Cette solution de suspension de spores a été utilisée pour inoculer les glumes pendant cette production.

## Expérimentation

Cinq doses d'inoculum (0, 150, 300, 450 et 600 kg/ha) et deux modes d'association sorgho-niébé (interligne et interpoquet) ont été étudiés dans un dispositif factoriel à cinq blocs. L'essai a été implanté sur les parcelles fortement infestées du Centre d'animation rural (Car) de Cinzana en 1996, découvertes suite à une prospection effectuée en 1990 par les agents de la station de Cinzana. Leur histoire fait ressortir une monoculture de sorgho pendant plus de cinq ans, ce qui a contribué à l'augmentation du niveau d'infestation.

La parcelle élémentaire était de 3,6 m de long et l'écartement entre les poquets de 0,4 m. Dans chaque parcelle, cinq poquets d'une ligne ont été inoculés au semis à une profondeur de 10 cm. L'inoculum et la semence de la céréale ont été mis dans le même poquet. Les variétés de niébé et de sorgho étaient respectivement It 89 Kd-245 (rampante à production grainière et fourragère, résistante au *S. gesnerioides* (Willd) Vatke, et Tiémaring. Une fertilisation de 100 kg/ha de phosphate d'ammoniaque (18-46-0) a été appliquée au semis. Le niébé et la céréale ont été semés le même jour. Deux traitements phytosanitaires du niébé au Décis à raison de 1 l/ha (dosé à 12 g/l de deltaméthrine, la matière active) respectivement à la floraison et au début de la fructification ont été effectués.

Les observations suivantes ont été effectuées : nombre de plants de *Striga* 82 jours après semis (Jas), vigueur du *Striga* sur une échelle de notation de 0 à 9 (où : 0 = pas de plants de *Striga* émergés ; 1 = hauteur moyenne du *Striga* < 5 cm, sans branches ; 2 = hauteur moyenne 6-20 cm, sans branches ; 3 = hauteur moyenne 6-20 cm, avec branches ; 4 = hauteur moyenne 21-30 cm, < 5 branches ; 5 = hauteur moyenne 21-30 cm, > 5 branches ; 6 = hauteur moyenne 31-40 cm, < 10 branches ; 7 = hauteur moyenne 31-40 cm, > 10 branches ; 8 = hauteur moyenne > 40 cm, avec 10 branches ; et 9 = hauteur moyenne > 40 cm, > 10 branches) et rendement en grain du sorgho.

Après l'émergence du *Striga*, un carré de comptage correspondant à la surface inoculée a été placé sur chaque ligne centrale de la parcelle privée des deux poquets de bordure de part et d'autre. Dans ce carré s'effectuaient toutes les observations sur le *Striga* et la culture.

Les nombres de *Striga* ont subi une transformation en racine carrée ( $x + 0,5$ ) avant l'analyse de variance. La signification entre moyennes a été déterminée au seuil de  $P = 0.05$  en utilisant le test de Student-Newman-Keuls.

## Résultats et discussion

*Striga hermonthica* cause de sérieux dégâts aux cultures avant l'émergence (Doggett, 1965). Dans le climat sahélien, l'incorporation de l'inoculum M12-4A dans le sol a plusieurs avantages incluant la protection de l'inoculum de la dessiccation et des fluctuations de température. En plus, il permettrait l'infection et le contrôle du *Striga* durant son développement souterrain (Diarra, 1996 ; 1995 ; Diarra et al., 1996a ; Ciotola et al., 1995 ; Ciotola et al., 1996). Les doses d'inoculum ont réduit significativement la croissance du *Striga* et augmenté le rendement de la céréale. L'incorporation de doses d'inoculum (0, 150, 450 et 600 kg/ha) sous forme de glumes colonisées par l'isolat M12-4A n'a eu aucun effet significatif sur la date d'apparition des premiers *Striga*, ni sur la biomasse du parasite à la récolte et le nombre de plants de *Striga* atteignant la floraison et la fructification. L'application de chaque dose d'inoculum a réduit significativement le *Striga* tout en augmentant le rendement en grain du sorgho ( $P < 0.05$ ). Les fortes doses de 450 à 600 kg/ha ont réduit de 74 % le nombre de plants de *Striga* 82 Jas et augmenté le ren-

dement grain du sorgho de plus de 80 % comparé au témoin (tableau I).

Une interaction entre doses d'inoculum et mode d'association a été observée, mais seulement avec le développement phénologique du parasite à 90 Jas. Cette interaction a réduit significativement la vigueur du *Striga* 90 Jas. Les faibles doses (150 et 300 kg/ha) ont réduit le développement phénologique du *Striga* en interpoquet comparé à l'interligne. Les fortes doses (450 et 600 kg/ha) n'ont eu aucun effet significatif sur le stade phénologique du parasite dans les deux modes d'association. L'interpoquet seul a entraîné un faible développement phénologique du parasite. Cependant, les fortes doses ont réduit très significativement le développement phénologique du *Striga* dans l'interligne comparé à la dose témoin (tableau II).

**Tableau II.** Effet de la combinaison de l'inoculation avec *F. oxysporum* et de l'association du sorgho avec le niébé sur les stades de développement phénologique du *S. hermonthica* à Cinzana en 1996<sup>(1)</sup>.

Doses d'inoculum (kg/ha)	Mode d'association sorgho-niébé	
	Interpoquet <sup>(2)</sup>	Interligne <sup>(2)</sup>
0	1,4	4,2
150	1,2	1,8
300	1,2	2,4
450	1,6	1,6
600	1,0	1,4
Etm à $P < 0,05$		± 0,41
Moyenne		1,7
Cv (%)		22,5

(1) Dispositif factoriel en blocs de Fisher à cinq répétitions.

(2) Interpoquet : 0,4 m entre les poquets de la même culture ; Interligne : 1,6 m x 0,25 m pour le niébé, et 1,6 m x 0,4 m pour le sorgho.

**Tableau I.** Effet de cinq doses d'inoculum de *F. oxysporum* sur la croissance de *S. hermonthica* et le rendement en grain du sorgho à Cinzana en 1996.

Doses d'inoculum (kg/ha)	Plants de <i>Striga</i> 82 Jas <sup>(1)</sup>	Rendement grain sorgho
	Nombre m <sup>2</sup>	kg/ha
0	40,7 (6,28 d) <sup>(2)</sup>	1 505 b
150	30,8 (5,54)c)	1 580 b
300	19,7 (4,11 b)	1 670 b
450	12,9 (3,36 a)	2 880 a
600	10,7 (3,11 a)	2 773 a
Etm à $P = 0,05$	± 5,86	± 840,7
Moyenne	22,9	1 840
Cv (%)	25	23

Dispositif factoriel en blocs de Fischer à cinq répétitions.

(1) Jours après semis.

(2) La variable a été analysée après transformation  $\sqrt{x + 0,5}$  ; les valeurs transformées sont indiquées entre parenthèses. Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil 5 % par le test de Student-Newman-Keuls.



Cet essai conduit dans un champ paysan comme les précédents a démontré que *S. hermonthica* était tué à tous les stades de développement, des plantules aux plantes en fructification (Diarra, 1995, 1996 ; Diarra *et al.*, 1996a ; Ciotola *et al.*, 1996). La première évidence visuelle de l'infection d'un *Striga* émergé était la nécrose au sommet des pieds. Cette nécrose descendait vers le bas et les tiges infectées flétrissaient, tournaient en brun et mourraient. *Fusarium nygamai* Burgess et Trimboli a réduit la biomasse du *Striga* de 10-50 % (Abbasher, 1996). Leurs résultats et notre travail avec des espèces de *Fusarium* sont concluants dans la suppression du *Striga* et l'augmentation du rendement de la culture dans les conditions de champ.

Des études futures doivent porter sur le développement des technologies de production à grande échelle de l'inoculum en collaboration avec des organisations non gouvernementales (Ong). Ces technologies doivent être efficaces, sans danger, à la portée des paysans tant au niveau technique qu'économique tout en maintenant la virulence de l'inoculum.

## Références bibliographiques

ABBASHER A.A., 1996. Biological control of *Striga*. Icrisat *Striga* Sector Review May 27-28, 1996, Bamako, Mali. 13 p.

CARSKY R. J., SINGH L., NDIKAWA R., 1994. Suppression of *Striga hermonthica* on sorghum using a cowpea intercrop. *Expl Agric* 30 : 349-358.

CIOTOLA M., WATSON A.K., HALLETT S.G., 1995. Discovery of an isolate of *Fusarium oxysporum* with potential to control *Striga hermonthica* in Africa. *Weed Res.* 35 : 303-309.

CIOTOLA M., DIARRA C., WATSON A.K., HALLETT S.G., 1996. *Fusarium oxysporum* isolate M12-4A controls *Striga hermonthica* in the field in West Africa. In *Proceedings of the IX International Symposium on Biological Control of Weeds*, 19-26 January 1996, Stellenbosch, South Africa, (Moran, V.C., Hoffmann J.H., eds.). Stellenbosch, South Africa : University of Cape Town, p. 508.

DEMBELE B., KAYENTAO M., 1996. Study on sorghum/cowpea association as a *Striga hermonthica* control method. Pan-African *Striga* Control Network. (Pascon) Fourth General Workshop: Integrated *Striga* management technologies: from research to farmers in sub-Saharan Africa, 28 October-1<sup>st</sup> November 1996, Bamako, Mali.

DIARRA C., 1995. Development of *Fusarium oxysporum* as a bioherbicide for the control of *Striga hermonthica* (Del.) Benth. MSc.Thesis, Department of Plant Science, McGill University, Canada, 81 p.

DIARRA C., 1996. Evaluation of *Fusarium oxysporum* for biological control of *Striga* in Mali. In *Icrisat (International Crops Research Institute for the semi-Arid Tropics) Sahelian Center 1996. Icrisat and Collaborative Programs Western and Central Africa Region. Annual Report., 1996. Niamey, Niger, Icrisat Sahelian Center*, p. 138-139.

DIARRA C., CIOTOLA M., HALLETT S.G., HESS D.E., WATSON A. K., 1996a. Field efficacy of *Fusarium oxysporum* for the control of *Striga hermonthica*. *Nuisibles-Pests-Pragas* 4 : 257-263.

DIARRA C., CIOTOLA M., HALLETT S.G., HESS D. E., WATSON A.K., 1996b. Mass production of *Fusarium oxysporum* (M12-4A), a biocontrol agent for *Striga hermonthica*. In *Proceedings of the IX International Symposium on Biological Control of Weeds*, 19-26 January 1996, Stellenbosch, South Africa, (MORAN, V.C., HOFFMANN J.H., eds.). Stellenbosch, South Africa : University of Cape Town, p. 142-152.

DOGGETT H., 1965. *Striga hermonthica* in East Africa. *J. Agric. Sci.* 65 : 183-194.

HOFFMANN G., DIARRA C., 1994. Présentation d'une méthodologie d'études des plantes parasites herbacées des cultures. In *Progress in Food Grain Research and Production in Semi-Arid Africa: proceedings of the Safrad Inter-Network Conference*, 7-14 Mar 1991, Niamey, Niger (MENYONGA, J.M., BEN-ZUNEH, T., YAYOCK, J.Y., SOUMANA, I., eds.). Ouagadougou, Burkina Faso, Semi Arid Food Grain Research and Development, p. 561-562.

HOFFMANN G., DIARRA C., DEMBELE D., 1994. *Striga asiatica* new pest of maize in Mali. *FAO Plant Protection Bulletin.* 42 : 214-215.

KONATE A., 1986. Rapport de la consultation pan-africaine Fao/Oua sur la lutte contre le *Striga* à Maroua au Cameroun du 20-24 octobre 1986, 24 p.

MBOOB S.S., 1986. A regional program of *Striga* control in West and Central Africa. In *Proceedings of the Fao/Oau All-African Government Consultation on Striga Control Maroua (Cameroun, ROBSON, T.O., BOARD, H.R., eds.)*, p. 190-194.

SAVARD M.E., MILLER J.D., CIOTOLA M., WATSON A.K. (sous presse). Secondary metabolites produced by a strain of *Fusarium oxysporum* used for *Striga* control in West Africa, 10 p.



# Les plantes parasites au Mali : inventaire spécifique et éléments de bio-écologie

## *Parasitic plants in Mali: species composition and bio-ecological aspects*

G. HOFFMANN<sup>1</sup>, P. GRARD

Programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad, BP 320, Bamako, Mali

1. Nouvelle adresse : 22 rue de Lamballe, 45400 Fleury-les-Aubrais, France

L'inventaire des plantes parasites du Mali a été réalisé lors de prospections effectuées de 1988 à 1992 dans les principales régions agricoles du pays (Kayes, Koulikoro, Sikasso, Ségou et Mopti). Les observations ont été effectuées le long des principaux axes routiers dans les cultures, les jachères et le milieu naturel. Les relevés ont toutefois été plus nombreux aux alentours de Bamako. Au total, 25 espèces de plantes parasites ont été inventoriées, appartenant à 10 genres et cinq familles. La plupart (23 taxa) sont des plantes hémiparasites (chlorophylliennes), seules deux espèces sont holoparasites (hétérotrophes). Les espèces épirhizes (se fixant sur les racines de l'hôte) sont au nombre de 18, et les épiphytes (se développant sur ses organes aériens) au nombre de sept. La famille des *Scrophulariaceae* est la plus riche en genres (cinq) et en espèces (17), suivie par celle des *Loranthaceae* (deux genres et cinq espèces dont *Tapinanthus pentagonia*). Les trois autres familles ne sont représentées que par une seule espèce chacune (c'est notamment le cas des *Cuscutaceae*, avec *Cuscuta campestris*). Parmi les *Scrophulariaceae*, on trouve 10 espèces de *Striga*, dont *S. asiatica* signalée pour la première fois au Mali, mais n'y représentant pas un problème, *S. aspera*, dont l'aire de répartition dans le pays est la plus vaste, sans qu'elle revête encore une réelle importance économique, *S. gesnerioides* fréquente sur niébé, et *S. hermonthica* très polyphage et

fréquente surtout sur les *Poaceae*, et notamment le sorgho. On observe une grande variabilité dans les modes de développement et les cycles des espèces répertoriées, entre par exemple *C. campestris*, *T. pentagonia* et *S. hermonthica*. Cependant, toutes les espèces épirhizes rencontrées (*Striga* spp., *Alectra vogelii*, *Buchnera hispida* et *Rhamphicarpa fistulosa*) ont un cycle voisin de celui de *S. hermonthica*. Le cycle biologique des *Striga* est constitué de deux phases, l'une souterraine (germination, puis fixation sur l'hôte et pénétration de ses tissus), et l'autre aérienne (floraison et fructification).

The parasitic plants of Mali were inventoried during surveys conducted from 1988-1992 in the main agricultural regions of the country (Kayes, Koulikoro, Sikasso, Segou and Mopti). Observations were made in cultivated fields, fallows and the natural environment along all the main roads. A more thorough inventory was carried out around Bamako. A total of 25 parasitic plant species were identified, belonging to 10 genera and five families. Most of them (23 taxa) are hemiparasites (photosynthetic), while only two species are holoparasites (non-photosynthetic). There are 18 epirhizous species (characterized by their attachment to the roots of the host plant), and seven epiphytes (growing on aerial parts). The *Scrophulariaceae* alone comprised five genera

and 17 species. This family is the most important, followed by the Loranthaceae, with two genera and five species (including *Tapinanthus pentagonia*). The other three families are represented by only one species each (notably the family *Cuscutaceae*, with *Cuscuta campestris*). Within the *Scrophulariaceae*, 10 species of *Striga* were found, including *S. asiatica*, which was reported for the first time in Mali. It constitutes only a minor pest, however. *S. aspera* has the widest distribution in the country, although it is not of economic importance. *Striga gesnerioides* is commonly found on cowpea, and *S. hermonthica* highly

polyphagous, is commonly found on *Poaceae*, particularly sorghum. Large variations are observed between the cycles of development of species such as *C. campestris*, *T. pentagonia* and *S. hermonthica*. However, the cycles of all the epirhizous species encountered in the survey (*Striga* spp., *Alectra vogelii*, *Buchnera hispida* and *Rhamphicarpa fistulosa*) are similar to that of *S. hermonthica*. The *Striga* spp. life cycle consists of two phases, of which one is underground (germination, then fixation on the host and penetration into its tissues), and the other aerial (flowering and fructification).

Session IV

# Agronomie





# Intérêt des associations de légumineuses au sorgho

K. TRAORE

Icrisat-Cirad, BP 320, Bamako, Mali

**Résumé** — Les cultures traditionnelles de sorgho sont souvent en association avec des légumineuses. Deux essais, sur trois années consécutives, ont permis d'étudier l'intérêt de l'association du sorgho avec le niébé, l'arachide ou le soja, par rapport aux cultures pures et aux rotations sorgho - légumineuses - cotonnier, sur deux sites à pluviométries différentes (900 et 1 100 mm/an), avec et sans fertilisation (engrais et fumier). L'association sorgho - légumineuses donne des résultats relativement constants, alors que sous sorgho pur, on observe en troisième année de culture un effondrement des rendements, que l'on ne peut pas éviter avec des apports d'engrais. La production des cultures associées est supérieure à celle des cultures pures. Les associations sorgho - arachide et sorgho - niébé sont de bien meilleurs précédents que le sorgho pur pour le cotonnier. Les cultures associées n'épuisent pas le sol plus rapidement que les cultures pures en l'absence d'engrais. Au contraire, certaines associations sorgho - légumineuses laissent des niveaux d'azote et de matière organique du sol plus élevés que ceux des cultures pures correspondantes. Sous toutes les rotations, on observe des diminutions du pH, de 5,8 à 5,3, et de l'azote du sol, de 0,48 à 0,30 ‰, alors que le phosphore assimilable augmente de 10 à 14 ppm.

**Abstract** — **Advantages of intercropping sorghum with legumes.** In fields of subsistence farmers, sorghum is commonly intercropped with legumes. The advantages of intercropping sorghum with cowpea, groundnut or soybean, as compared to sole crops on one hand, and sorghum/legumes/cotton rotation on the other, with and without organic manure or mineral fertilizer application were examined in two trials conducted in three consecutive years at two sites differing in average annual rainfall (900 and 1 100 mm). Year to year yield stability was satisfactory with sorghum-legume intercrops, whereas yield of sole sorghum decreased in the third year, and this trend could not be reversed by fertilizer application. Total production of mixed cropping was higher than that of sole crops. Cotton performance was better when preceded by sorghum-groundnut and sorghum-cowpea intercrops than by sole sorghum. In the absence of fertilizer, mixed cropping did not result in a faster

depletion of soil nutrients as did sole cropping. The nitrogen and organic matter content of the soil was higher in the sorghum-legumes intercrops than in the corresponding sole crops treatments. From the assessment of all the rotations, it was observed that soil pH and nitrogen decreased from 5.8 to 5.3 and from 480 ppm to 300 ppm, respectively while the soil available phosphorus increased from 10 to 14 ppm.

Les cultures associées sont une pratique agricole qui consiste à cultiver deux ou plusieurs espèces en même temps et sur la même parcelle. Elles sont largement répandues à travers le monde depuis les cultures vivrières d'Asie, d'Afrique ou d'Amérique jusqu'aux cultures fourragères d'Europe ou d'Amérique.

Les variantes sont innombrables et souvent très complexes, rendant ainsi leur étude assez délicate. Francis (1986) affirme que certaines petites exploitations à faible revenu cultivent jusqu'à 50 à 60 espèces (arbres, arbustes, racines, plantes herbacées ou grimpantes). On a même compté jusqu'à 80 espèces pour un groupe ethnique. Dans les zones semi-arides, la pratique des cultures associées revêt une importance capitale pour l'agriculture de subsistance. L'objectif principal est alors de produire une grande variété d'aliments, avec une grande sécurité.

D'après Roy et Braun (1986), on pourrait rationaliser la fumure en parvenant à établir un calendrier pour les systèmes culturaux en tenant compte des différentes composantes, pour profiter au maximum des effets des résidus de la récolte précédente et de la fumure qui lui a été appliquée ; de l'azote apporté au système par les légumineuses ; du niveau des ressources en eau ; de l'effet cumulatif des fumures organiques en complément des engrais minéraux...

Le programme agronomie du Cirad-Ca-Icrisat, compte tenu de l'importance et de la complexité du sujet, a entrepris des études relatives à l'évolution de la production dans différents systèmes culturaux à base de sorgho et à leurs effets sur le maintien de la fertilité des sols. Le présent document traite de façon générale les cultures associées et de façon particulière des résultats obtenus en station au cours de trois années, sous la direction de P. Salez.

## Situation du problème

### L'usage des cultures associées

Les cultures associées sont très fréquentes dans les systèmes traditionnels d'Afrique sahélienne. Au Mali en particulier, elles couvriraient 80 % des surfaces cultivées d'après Shetty *et al.*, (1987). De même, elles sont très fréquentes dans les zones sud-guinéennes et les savanes préforestières caractérisées par une longue saison des pluies avec une répartition irrégulière et souvent bimodale, ou par deux saisons des pluies souvent aléatoires, car les problèmes de sécheresse sont alors fréquents.

Dans les zones où la saison des pluies est courte et irrégulière, on choisit une culture principale de cycle assez court et une densité modeste afin d'assurer une récolte minimum chaque année. Des cultures secondaires sont associées pour profiter au mieux de l'espace disponible entre les pieds et des pluies, les années où elles sont relativement abondantes. La diversité des productions et leur étalement au cours de l'année sont très appréciés pour les cultures d'autoconsommation. Par contre, la production de surplus importants n'est pas recherchée quand les conditions économiques ne permettent pas leur commercialisation.

Les cultures associées sont minoritaires dans les zones nord guinéennes (moins de 50 % des surfaces cultivées) où la saison pluvieuse permet l'accomplissement du cycle de reproduction complet dans de bonnes conditions hydriques. Dans ces mêmes conditions, on peut aussi utiliser des associations de variétés à cycles végétatifs courts, en culture - relais. L'intérêt de ces associations par rapport à une seule culture de cycle long est sujet à discussions (Mc Collum, 1986).

La fertilisation des cultures associées pose des problèmes car, d'une part, les exigences minérales des différentes cultures ne sont pas identiques et d'autre part, en favorisant l'une des cultures, on diminue souvent la production des autres. D'après Mc Collum (1986), de façon générale les cultures associées sont

bien adaptées à une agriculture caractérisée par une faible utilisation d'intrants et une technologie peu avancée. Davis (1986) remarque que le *Ler* (*Land equivalence ratio*) diminue avec la fertilisation, ce qui explique que la culture associée n'est particulièrement intéressante que pour les systèmes à faibles intrants.

### Intérêt des cultures associées

Les systèmes de cultures associées sont un mode d'exploitation agricole qui présente plusieurs avantages.

Les systèmes de cultures associées permettent une meilleure utilisation de l'eau et des éléments fertilisants. Willey *et al.*, (1982) affirment qu'en situation de déficit d'eau et d'azote, les cultures associées présentent plus d'intérêt que dans les autres types de situations possibles (figure 1). Eaglesham *et al.*, (1981) ont conclu que le maïs associé au niébé contenait davantage d'azote que le maïs pur lorsque le niveau d'application de l'azote est faible (tableau I).

Ils assurent le recyclage des éléments (Francis, 1986) par « pompage » du P en profondeur et le maintien des éléments dans l'horizon supérieur, ce qui conduit à un meilleur entretien de la fertilité et à une meilleure stabilité du système.

L'utilisation des eaux de pluies est plus longue par l'association des variétés photosensibles tardives à d'autres espèces plus hâtives. Mc Collum (1986) conclut que dans les zones où les cultures sont possibles toute l'année, les cultures associées produisent nettement plus car le sol est utilisé tout le temps.

Les systèmes de cultures associées protègent le sol contre l'effet « splash » des gouttes d'eau des pluies, contre l'impact direct du soleil (évaporation et température du sol), contre la formation de croûte. Sous une couverture permanente, l'infiltration de l'eau de

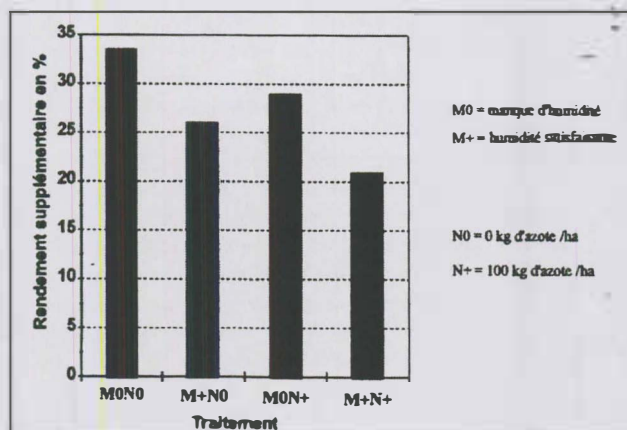


Figure 1. Effet de l'association en cas de stress hydrique (d'après Willey *et al.*, 1982).



**Tableau 1.** Teneur en N (mg N/plante).

Traitement		Niébé	Maïs
0N	Culture pure	1535 NS	469
	Culture associée	1195 NS	915*
25 N	Culture pure	1346 NS	426
	Culture associée	1223	782*
100 N	Culture pure	1095 NS	810 NS
	Culture associée	924	989

NS = non significatif

\* = significatif (à P = 0,05)

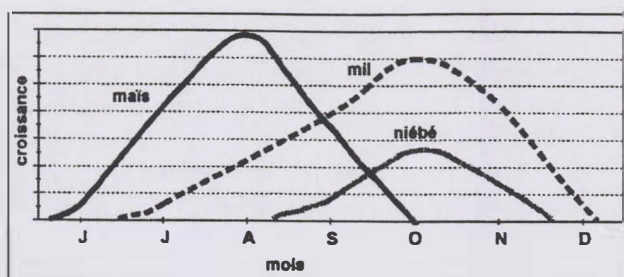
pluie est améliorée et le ruissellement diminué. L'érosion est donc fortement diminuée. Nye et Greenland (1960) constatent effectivement que l'érosion du sol reste faible sous les cultures associées traditionnelles car le sol est couvert une grande partie de l'année et les champs sont de petites tailles.

Ils interviennent dans la lutte contre les maladies et insectes : certains arrangements spatiaux entraveraient les déplacements des insectes et la propagation des maladies.

Les cultures associées favorisent la lutte contre les adventices et une utilisation plus efficace de la main-d'œuvre : en présence de légumineuses rampantes, le sarclage peut être considérablement réduit. Par exemple, le temps consacré au sarclage est, en cultures associées sorgho x niébé inférieur d'environ 10 % à ce qu'il serait dans une combinaison de 0,5 ha de chaque culture. La culture associée ne nécessite que deux sarclages alors que la culture pure en exige plus (Salez, 1989).

L'association des cultures permet, également, un étalement de la croissance et des besoins en éléments minéraux dans le temps (figure 2) et dans l'espace tout en réalisant une meilleure utilisation de différents horizons du sol. Selon Steiner (1982), les cultures associées permettent l'exploitation d'un plus grand volume de sol en raison de la croissance des racines à des profondeurs différentes. La croissance des cultures sur une plus longue période aboutit à l'étalement des prélèvements minéraux et donc à des besoins journaliers plus faibles, pour une même mobilisation globale au cours de la saison. Inversement, les éléments minéraux qui apparaissent progressivement par minéralisation et qui risquent d'être lixiviés, sont mieux utilisés grâce à une période de végétation plus longue.

Enfin, ces systèmes procurent une stabilité et une sécurité des productions : la multiplicité des plantes cultivées entraîne une répartition des risques, toutes les plantes n'étant pas affectées au même degré par



**Figure 2.** Représentation schématisée des périodes de croissance du maïs, du mil et du niébé (d'après Shetty et al., 1987).

les aléas d'ordre climatique ou phytosanitaire. Cette stabilité se fonde essentiellement sur le phénomène de croissance compensatrice : le mauvais développement de l'espèce sensible à un aléa donné est compensé par un surcroît de développement (du fait d'une disponibilité accrue des ressources) des autres espèces associées.

Au total, les productions globales, par hectare et par actif, sont généralement plus élevées en cultures associées et, par la suite, les profits aussi. On exprime par le *Land equivalent ratio* (Ler) le supplément de rendement (ou « sur-rendement ») de l'association par rapport aux cultures pures, sur une même surface. Il résulte de l'utilisation plus efficace des ressources et des croissances compensatrices.

Les cultures associées maintiennent généralement mieux la fertilité, malgré des exportations minérales plus élevées dues à leurs productions plus élevées. Cela est possible grâce aux plantes à enracinement profond, qui permettent de remonter les éléments minéraux entraînés par drainage, et à une végétation active pendant toute la saison pluvieuse qui limite le drainage et les risques d'érosion. En plus, si l'une des espèces associées est une légumineuse en situation de sol pauvre en azote, elle fixe de l'azote atmosphérique et elle en laisse aux cultures associées de cycle plus long ou aux cultures suivantes (Steiner, 1982). Cette fixation de l'azote par la légumineuse est mise en évidence dans le rapport de la cellule agro-pédologie de la Srcvo (décembre 1987). En effet, les besoins en éléments minéraux des composantes de l'association sont différents. La céréale répond à l'engrais tandis que l'arachide, capable de fixer 60 % de ses besoins en azote à partir de l'air, répond peu à l'apport de cet élément (sans fertilisation = 1 800 kg/ha ; avec fertilisation = 2 000 kg/ha).

Au cours des deux dernières décennies, la recherche agronomique au Mali a mis un accent particulier sur les cultures associées à travers plusieurs études principalement menées en agriculture pluviale aussi bien en station qu'en milieu réel. Plusieurs résultats ont été obtenus et nous ne citerons que ceux relatifs aux associations céréales - légumineuses car elles sont



très fréquentes dans les champs de paysans et elles présentent des avantages techniques substantiels :

- la petite taille des légumineuses fait qu’elles ne rentrent pas trop en concurrence avec les autres espèces pour la lumière ;
- la fixation d’azote par les légumineuses fait que la concurrence pour cet élément est généralement moins forte.

Ainsi :

- des essais d’associations, sorgho-niébé conduits à Sikasso (documents commission technique 1er, Sikasso, 1984) faisaient ressortir que lorsque le rendement du sorgho augmente celui de la légumineuse diminuait et vice-versa, d’où la recommandation d’associer le sorgho fertilisé avec une densité faible de niébé (tableau II) ;
- à Sotuba (rapport cellule agropédologie, Srcvo 1987), le rendement du sorgho après l’association sorgho-arachide (1 961 kg/ha) n’est pas statistiquement différent du rendement après arachide pure (2 436 kg/ha) avec une fumure égale à : 300 kg PNT, 50 kg K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0-40-80 kg d’azote ;
- Shetty *et al.*, 1987 observent dans l’association sorgho-arachide un avantage de production de 50 % par rapport aux cultures pures. Un semis simultané des deux espèces à raison d’une ligne de sorgho et 4 lignes d’arachide serait optimal ;
- les études de Brétaudeau *et al.*, (1987) sur l’association maïs-mil font ressortir que la fertilisation vulgarisée pour le maïs pur est insuffisante pour couvrir les besoins des deux composantes.

## Etudes menées au sous-programme agronomie Cirad-ca - Icrisat

### Objectifs

Les agrosystèmes à base de sorgho, légumineuses et cotonnier ont fait l’objet de nombreuses études en Afrique centrale et de l’Ouest quant à leurs effets sur l’évolution de la production et le maintien de la fertilité des sols à travers des successions et rotations culturales (Gigou, 1987 ; Traoré et Martiné, 1987 ; Pichot *et al.*, 1981 ; Renard *et al.*, 1987 ; Loynet, 1987) ainsi que des cultures continues (Renard *et al.*, 1987 ; Kzarke, 1988).

Par ailleurs, plusieurs études agronomiques ont comparé les cultures pures aux cultures associées (Traoré *et al.*, 1987 ; Shetty *et al.*, 1987 ; Denis et Coulibaly, 1987). De même, des résultats de mobilisations et d’exportations minérales par les cultures pures ou

**Tableau II.** Rendement du sorgho en t/ha suivant la densité du niébé associé et la dose d’azote (d’après Commission technique S3, 1984).

	Densité niébé	Dose d’azote (N/ha)	
	pieds/ha	N1 = 0N	N2 = 40N
D1	12 500	1,30	1,61
D2	25 000	1,33	1,36

Fumure de fond = 200 kg/ha de super simple.

associées ont été rapportés (Traoré et Martiné, 1987). Cependant, ces différentes comparaisons étaient ponctuelles et effectuées à l’échelle d’une seule saison culturale. Il était donc intéressant d’évaluer les effets agronomiques de ces différents systèmes culturaux en rotation, dans des essais pérennes. C’est pourquoi deux essais ont été mis en place en 1989 sur deux sites différents : Longorola à 8 km de Sikasso et Samanko à 15 km de Bamako.

Le premier est un essai de comparaison d’association sorgho-légumineuses avec ou sans fertilisation azotée. Il a pour objectifs :

- de comparer les associations sorgho-arachides, sorgho-niébé et sorgho-soja en présence ou non d’engrais azoté ;
- d’apprécier les exportations d’azote des différents systèmes et l’efficience d’utilisation de l’azote par ces systèmes ;
- d’étudier les arrière-effets sur les cultures de l’année suivante et l’effet des systèmes sur le maintien de la fertilité du sol.

Le second est un essai de comparaison de divers systèmes à base de sorgho, légumineuses et cotonnier. Il a pour objectifs :

- de comparer diverses successions et associations culturales à base de sorgho sur plusieurs années ;
- d’étudier les effets des fumures minérales et organiques sur ces systèmes de culture et sur le maintien de la fertilité des sols.

L’analyse des résultats des trois années de l’essai a porté sur :

- l’effet des fumures minérales et organiques sur l’évolution de la production des différentes cultures ;
- les arrière-effets des différents systèmes culturaux sur les cultures suivantes et l’identification des précédents et des successions les plus intéressants ;
- l’appréciation de l’évolution du sol à travers des analyses chimiques de celui-ci avant et après trois années d’essai.

## Méthodologie expérimentale

### Essai 1 : évolution de la production dans des rotations de cultures pures et associées de sorgho et légumineuse

Cet essai a été poursuivi de 1989 à 1992 à Samanko et Longorola.

En première année, l'essai est composé de 14 traitements suivant un dispositif factoriel (bloc de fichier, 8 répétitions). Il compare sept systèmes :

- sorgho pur ;
- arachide pure ;
- niébé pur ;
- soja pur ;
- association sorgho x arachide ;
- association sorgho x niébé ;
- association sorgho x soja.

Il compare aussi trois niveaux de fertilisation :

- 0 N ;
- 80 N (urée, 1/2 au semis et 1/2 à 35 jours après semis) ;
- 30 P comme fumure de fond.

En seconde année, l'essai a été séparé en deux essais différents, afin d'apprécier les arrière-effets : les quatre premiers blocs avec une culture pure de sorgho sans engrais ; les quatre autres blocs suivant les mêmes cultures que la première année.

En troisième année, les huit blocs ont reçu les mêmes cultures que la première année, si bien que les quatre derniers blocs ont reçu des cultures ou associations qui se succèdent à elles-mêmes pendant les trois années de l'étude. La fumure apportée est de 60 N-60 P.

### Essai 2 : évolution de la production dans des rotations culturales incluant le sorgho, une légumineuse et du cotonnier

Le dispositif est en blocs de fichier à deux répétitions. Il comporte 18 traitements correspondant à un dispositif factoriel : six rotations par trois niveaux de fertilisation. Les six rotations sont présentées dans le tableau III. Les trois (3) niveaux de fumure sont :

- F0 : sans fumure,
- F1 : fumure minérale recommandée pour chaque culture,
- F2 : F1 + 5 t/ha de compost.

Où la fumure minérale recommandée est :

- sorgho : 100 kg/ha de complexe coton (14-22-12) avant semis + 50 kg/ha d'urée à 35 jours après semis (Jas) ;
- coton : 200 kg/ha de complexe coton avant semis + 50 kg/ha d'urée à 35 J as ;
- arachide : 200 kg/ha de phosphate super simple ;
- associations sorgho-légumineuses : 130 kg/ha super simple + 10 kg/ha d'urée à 35 J as.

Tableau III. Les six rotations de l'essai n° 2.

1989	1990	1991
sorgho	cotonnier	arachide
arachide	sorgho	cotonnier
cotonnier	sorgho	arachide
sorgho x arachide	cotonnier	sorgho x arachide
sorgho x niébé	cotonnier	sorgho x niébé
sorgho	sorgho	sorgho

## Résultats obtenus

Les premiers résultats obtenus (1989 et 1990) ont été présentés à Niamey en 1991 (Salez *et al.*, 1991). Nous regrouperons ci-après l'ensemble des trois années, y compris les analyses faites à la fin de l'essai pour apprécier l'évolution du sol.

### Evolution des rendements et Ler

Pour les systèmes se succédant à eux-mêmes sur la même parcelle, il apparaît que les légumineuses ne répondent pas à la fertilisation, sauf le soja en troisième année (le sol étant alors appauvri). On remarque plutôt une diminution graduelle dans le temps des rendements de l'arachide à Samanko (tableau IV). Dans les associations sorgho - niébé ou sorgho - arachide, seul le sorgho bénéficie de l'engrais apporté. Par contre, le soja bénéficie aussi de l'engrais (tableau V).

En culture associée sans engrais, les rendements du sorgho en troisième année sont toujours supérieurs ou égaux à ceux de la première année (tableau V). Par contre, en culture pure et en l'absence de fumier, on constate une chute brutale du rendement du sorgho, équivalente à la moitié de la production initiale, aussi bien en présence qu'en absence de fumure minérale.

Pour apprécier globalement les associations et les comparer aux cultures pures, nous avons utilisé le Ler (*Land equivalent ratio*), un indice d'efficacité biologique de l'association culturale défini par :

$$\text{Ler} = \frac{\text{rendement relatif espèce A} + \text{rendement relatif espèce B}}{2}$$

où :  $\text{rendement relatif espèce N} = \frac{\text{rendement de N dans l'association}}{\text{rendement N pur}}$

L'association est supérieure aux cultures pures quand Ler est supérieur à 1.

Dans les essais, les Ler augmentent car le rendement du sorgho pur revenant sur lui-même diminue. Par conséquent, la production globale d'une

succession de cultures associées est largement supérieure à celle des cultures pures identiques non associées (figure 3).

Par ailleurs, les associations sorgho-légumineuses ne sont pas toutes identiques quant à leur production globale. L'association sorgho-arachide paraît moins stable que les autres au cours du temps, probablement parce que l'arachide supporte moins bien la concurrence.

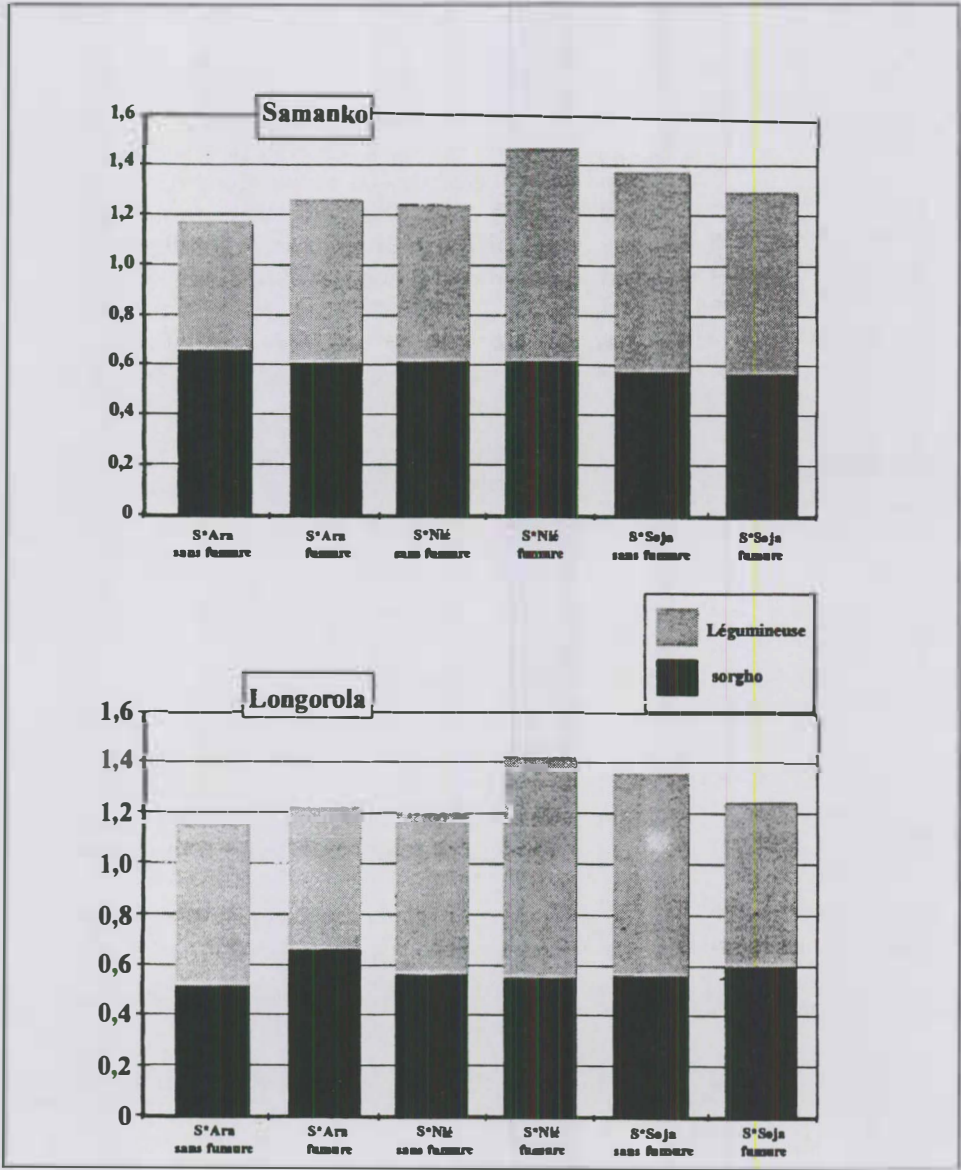
### Arrière-effets

La fumure azotée ne présente pas d'arrière-effets significatifs sur le sorgho cultivé en pur l'année suivante (tableau VI). Par contre, les légumineuses cultivées en pur ont un arrière-effet non négligeable sur le sorgho cultivé en pur (gain de 700 kg/ha après un niébé pur à Longorola et 250 kg/ha après une arachide pure à Samanko).

En l'absence d'engrais, l'association sorgho-arachide constitue un meilleur précédent cultural que le sorgho pur (+ 68 % de rendement de coton graine) alors qu'en présence d'engrais l'association sorgho - niébé produit 53 % de plus.

**Tableau IV.** Variation du rendement de l'arachide à Samanko (essai 1). L'indice 100 représente le rendement en culture non fertilisée en 1989.

	1989	1990	1991
Culture pure			
Sans fumure	100	77	54
Avec fumure	116	61	55
Culture associée			
Sans fumure	100	43	47
Avec fumure	108	47	37



*Figure 3.* Les moyens sur trois années.



**Tableau V.** Evolution des rendements dans des systèmes se succédant à eux-mêmes sur la même parcelle, à Samanko (grains en kg/ha).

Système	cultures	1989		1990		1991	
		sans fumure	avec fumure	sans fumure	avec fumure	sans fumure	avec fumure
Cultures pures	sorgho	785	1 210	1 305	1 654	586	1 014
	arachide	1 157	1 345	892	707	620	638
	niébé	570	637	386	316	901	849
Sorgho x arachide	soja	878	880	898	1 014	255	451
	sorgho	268	659	732	899	732	654
	arachide	803	864	348	380	378	297
Sorgho x niébé	sorgho	434	654	621	994	479	639
	niébé	337	404	315	277	724	781
Sorgho x soja	sorgho	459	608	572	644	606	883
	soja	642	741	681	773	118	520

**Tableau VI.** Arrière-effets de divers systèmes culturaux sur le rendement d'une culture pure de sorgho.

Précédent cultural 1989	Rendement sorgho Samanko 1990 (kg/ha)		Rendement sorgho Longorola 1990 (kg/ha)	
Sorgho	1 713	a b	1 061	b
Arachide	1 975	a 1	414	a b
Niébé	1 681	a b	1 754	a
Soja	1 845	a b	1 346	a b
Sorgho x arachide	1 527	a b	1 185	b
Sorgho x niébé	1 377	b	1 515	a b
Sorgho x soja	1 605	a b	1 249	a b
Moyenne	1 675		1 360	
Effet fertilisation	NS		NS	
Effet système	S		S	
CV (%)	18,7		26,7	
ETR (kg/ha)	313		363	
ETM système (kg/ha)	111		128	

Les moyennes suivies d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % (test de Newman-Keuls).

**Tableau VII.** Production de diverses successions culturales non fertilisées sur deux années (essai 1).

Site	Successions culturales		Production totale	
	année 1	année 2	sur 2 ans (kg de graines/ha)	
Samanko	A	S	A = 1 157	S = 1 934
	S * A	S * A	A = 1 151	S = 1 000
	Ni	S	Ni = 570	S = 1 833
	S * Ni	S * Ni	Ni = 652	S = 1 055
	Sj	S	Sj = 878	S = 1 806
	S * Sj	S * Sj	Sj = 1 323	S = 1 031
	A	S	A = 1 200	S = 1 232
Longorola	S * A	S * A	A = 1 639	S = 1 072
	Sj	S	Sj = 1 046	S = 1 347
	S * Sj	S * Sj	Sj = 1 506	S = 1 073

S : sorgho ; A : arachide ; Ni : niébé ; Sj : soja.

## Rotations culturales

En absence de fertilisation, la rotation sorgho - arachide / coton / sorgho - arachide se montre plus productive pour les trois cultures (arachide, sorgho et coton). Avec la fertilisation, à l'exception de l'ara-

chide, elle conserve le même privilège. Ce qui peut susciter un certain intérêt en zone Cmdt.

Les rotations de cultures associées permettent une production plus importante de légumineuses que les rotations légumineuses - sorgho en culture pure : + 37 % pour l'arachide, + 14 % pour le niébé, de

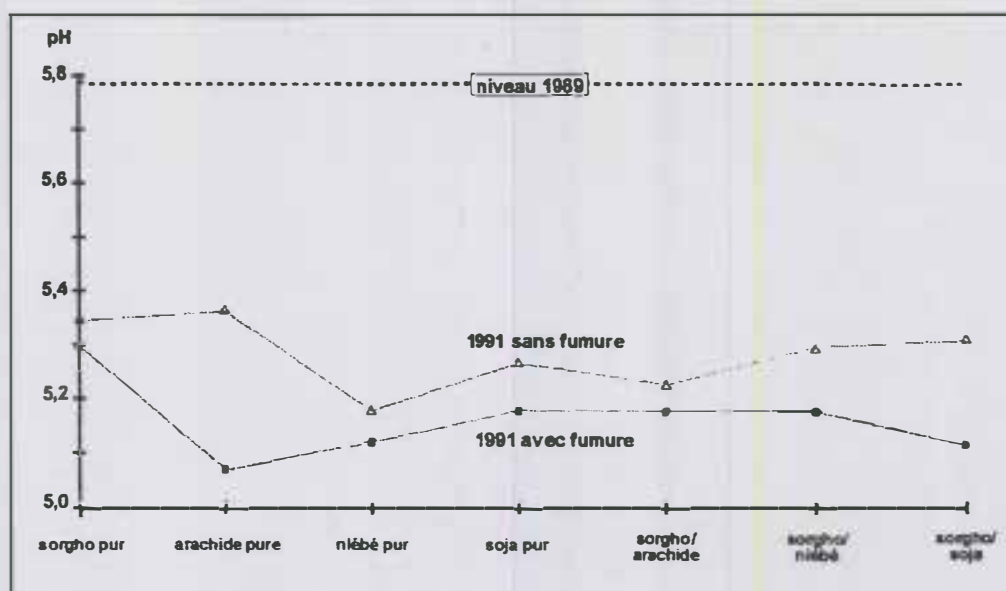


Figure 4. Evolution du pH sous divers systèmes de culture à Samanko (essai 1).

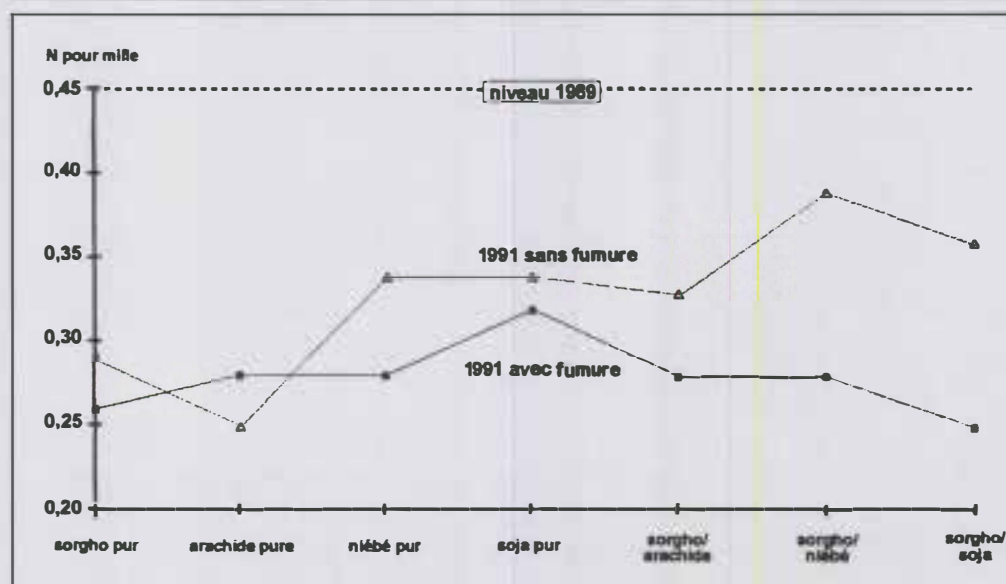


Figure 5. Evolution de l'azote du sol sous divers systèmes de culture à Samanko (essai 1).

44 à 51 % pour le soja (tableau VII). Par contre les rotations légumineuses - sorgho en culture pure présentent une production de céréale plus importante que les rotations de cultures associées correspondantes (+ 75 % à Samanko et de + 15 à + 25 % à Longorola).

## Evolution de la fertilité du sol sous différents systèmes culturaux

Les analyses de sol effectuées concernent les quatre derniers blocs de l'essai 1, où les cultures se sont succédé à elles-mêmes pendant trois ans et tout l'essai 2.

On constate, sous toutes les rotations culturales (sur les deux essais), que :

- le pH du sol diminue de 5,8 à 5,3 en moyenne (figure 4) ;

- la teneur en azote du sol diminue de 0,48 à 0,30 % (figures 5 et 6) ;

- la teneur en phosphore assimilable augmente de 10 à 14 ppm (figure 7).

Les fumures minérales ou organo-minérales entraînent une augmentation de la teneur en phosphore assimilable du sol, une diminution du pH (essai 1 = effet fumure azotée) et une augmentation de la teneur en potassium échangeable (essai 2 : de 0,09 à 0,13 cé/kg, effet du fumier).

Les cultures associées, contrairement à ce que l'on pourrait penser a priori, n'épuisent pas le sol plus rapidement que les cultures pures en l'absence d'engrais. On constate au contraire que certaines associations (sorgho - arachide, sorgho - soja) présentent des niveaux d'azote et de matière organique du sol plus élevés que ceux des cultures pures correspondantes.

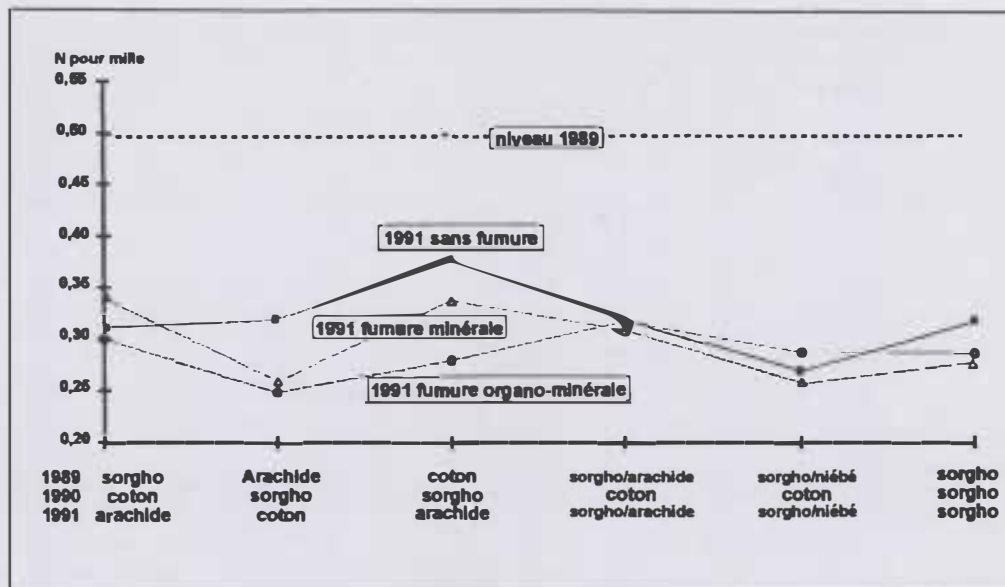


Figure 6. Evolution de l'azote du sol sous divers systèmes de culture à Samanko (essai 2, horizon 0-20 cm).

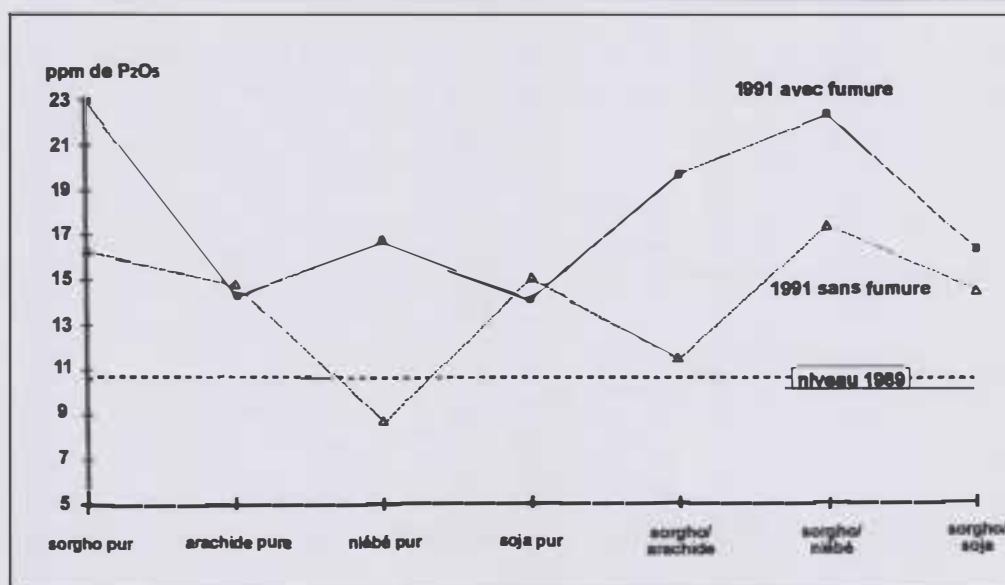


Figure 7. Evolution du phosphore assimilable du sol sous divers systèmes de culture à Samanko (essai 1).

## Conclusion

Les cultures associées sont très fréquentes en champs paysans et elles ont un avantage certain, en culture peu intensive, pour la stabilité de la production durant plusieurs années successives. Les successions culturales de sorgho - arachide et les rotations sorgho - arachide / cotonnier / sorgho - arachide, par exemple, ce sont révélées intéressantes pour le maintien de la fertilité des sols.

Mais l'association des cultures a aussi des inconvénients :

- difficulté de mécanisation ;
- difficulté d'entretien des cultures (traitements phytosanitaires, sarclages...) ;
- exploitation plus intense du sol.

## Références bibliographiques

- BRETAUDEAU A., TRAORE B., DEMBELE A., 1987. Résultat de recherche sur les associations de culture à l'Institut polytechnique rural de Katibougou. In séminaire Les cultures associées au Mali. Bamako, 15-17 septembre 1987. Ier et Icrisat, Bamako, Mali, 73-85.
- DAVIS J.H.C., WOOLLEY J.N., MORENO R.A., 1986. Multiple cropping with legumes and starchy roots. In Francis C.A. (Ed.) : Multiple cropping systems. New York., USA. Macmillan Publishing Company, p. 133-160.
- DENIS J.C., COULIBAL Y.B., 1987. Informations et observations sur les cultures associées dans la zone de l'Opération Haute Vallée. In séminaire Les cultures associées au Mali. Bamako, 15-17 septembre 1987. Ier et Icrisat, Bamako, Mali, p. 171-187.



- EAGLESHAM A.R.J., AYANABA A., RANGA RAO V., ESKEW D.L., 1981. Improving the nitrogen nutrition of maize by intercropping with cowpea. *Soil Biol. Biochem* 13 : 168-171.
- FAO, 1986. Emploi des engrais dans les systèmes de cultures multiples. *Bull. Fao Engrais et nutrition végétale* 5 : 197 p.
- FRANCIS C.A., 1986. Future perspectives of multiple cropping. *In* FRANCIS C.A. (Ed.) : Multiple cropping systems. New York, USA. Macmillan Publishing Company, p. 351-370.
- GIGOU J., 1987. L'adaptation des cultures dans le centre de la Côte d'Ivoire. *L'Agronomie Tropicale* 42 (1) : 1-11.
- GIGOU J., 1986. La fertilisation raisonnée du sorgho en Afrique de l'Ouest. *L'Agronomie Tropicale* 41 (3-4) : 192-202.
- KWAKYE P.K., 1988. The influence of organic matter in combination with fertilizers on crop yields and soil properties on a savanna soil in Ghana under continuous cropping. *Trop Agric* 6 (1-2) : 57-67.
- LOYNET G., 1987. Synthèse thématique des études conduites par l'Irat depuis 1961 sur les techniques culturales du sorgho. Montpellier, France, Cirad, 21 p.
- McCOLLUM R.E., 1986. Dynamique des éléments fertilisants du sol dans les systèmes de cultures multiples dans la perspective d'une utilisation efficace des engrais. *Bull. Fao, Engrais et nutrition végétale*, 5 : 56-68.
- NYE P.H., GREENLAND D.J., 1960. The soil under shifting cultivation. *Tech Comm* 51, Commonwealth Bur Soils Harpenden, Bucks, United Kindom, 156 p.
- PICHOT J., SEDOGO M.P., POULAIN J.F., ARRIVETS J., 1981. Evolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence de fumures minérales et organiques. *L'Agronomie Tropicale* 36 (2) : 122-133.
- REDDY M.S., REGO T.J., BURFORD J.R., WILLEY R.W., 1986. Gestion des engrais dans les systèmes de cultures multiples notamment d'après l'expérience de l'Icrisat. *In* Emploi des engrais dans les systèmes de cultures multiples. *Bull. Fao, Engrais et nutrition végétale*, 5 : 46-55.
- RENARD C., NTARE B.R., FUSSELL L.K., 1987. Progrès de la recherche sur les systèmes culturaux. *In* séminaire Les cultures associées au Mali. Bamako, 15-17 septembre 1987. 1er et l'icrisat, Bamako, Mali, p. 91-104.
- ROY R.N., BRAUN H., 1986. Emploi des engrais en culture multiple. *Bull. Fao, Engrais et nutrition végétale* 5 : 9-23.
- SALEZ P., 1988. Compréhension et possibilités d'amélioration de systèmes de cultures associées céréale - légumineuse au Cameroun. Thèse de doctorat, Montpellier, France, 180 p.
- SALEZ P., 1990. Rapport analytique, campagne 1989, sous-programme agronomie. Cirad/Icrisat, Bamako, Mali, 31 p.
- SALEZ P., MARTIN F., 1992. Evolution de la production et de la fertilité du sol dans des rotations culturales incluant du sorgho, des légumineuses et du cotonnier. Document agronomie n°3. Cirad/Icrisat, Bamako, Mali, 17 p.
- SALEZ P., TRAORE K., 1991. Premiers résultats sur des rotations de sorgho et légumineuses en culture pure ou associée et de cotonnier. Communication à la conférence Safgrad, Niamey, 7-14 mars 1991.
- SHETTY S.V.R., KEITA B., COULIBALY A., KASSAMBARA I., 1987. Cultures associées au Mali. Progrès de la recherche agronomique. *In* séminaire Les cultures associées au Mali. Bamako, 15-17 septembre 1987. 1er et l'icrisat, Bamako, Mali, p. 31-51.
- STEINER K.G., 1982. Intercropping in Tropical Smallholder Agriculture with Special reference to West Africa. Gtz. Eschborn. West Germany, 250 p.
- TRAORE A., MARTINE J.F., 1987. Fertilisation et maintien de la fertilité des sols. Rotations et associations culturales au Mali. *In* séminaire Les cultures associées au Mali. Bamako, 15-17 septembre 1987. 1er et l'icrisat, Bamako, Mali, p. 53-71.

# Rotation and fertilizer effects on the productivity of sorghum based cropping systems in Northern Nigeria

R. TABO

Icrisat, Sabo Bakin Zuwo Road, PMB 3491, Kano, Nigeria

**Abstract** — The effects of rotating four intercropping systems, sorghum-groundnut, sorghum-cowpea, sorghum-soybean and sorghum-pigeonpea and their sole crops under different fertility levels were examined in a long term trial at Bagauda in Northern Nigeria. In all the three years (1994 to 1996), sorghum yields did not differ between the intercrops with the four legumes although pigeonpea appeared to depress slightly yields of sorghum. Sorghum yields were higher when either phosphorus or nitrogen was applied than when neither of these nutrients was applied. Differences in leaf area index, light interception and radiation use efficiency explain, in part the differences observed in yields of sorghum. Radiation use efficiency were higher (0.64 g/MJ) when either phosphorus or nitrogen was used than when none of these two nutrients was applied (0.40 g/MJ). There was a positive effect of the preceding legumes on the yield of sorghum. Among the four legumes, groundnut had the largest effect on sorghum yields. Overall, there is an indication of some positive effect of the previous intercrops on the performance of the subsequent intercrops.

**Résumé** — Effets des rotations et de la fertilisation sur la productivité des systèmes de culture à base de sorgho au nord du Nigeria. La rotation de quatre associations de cultures (sorgho-arachide, sorgho-niébé, sorgho-soja et sorgho-pois d'Angole) a été comparée, en terme de productivité, à celle des cultures pures correspondantes, sous différents niveaux de fertilisation, dans le cadre d'un essai de longue durée mené à Bagauda, au nord du Nigeria. Pendant les trois années de l'essai (1994 à 1996), le rendement du sorgho n'a pas été affecté de façon significative par la légumineuse cultivée en association, bien que celui-ci ait été légèrement plus faible avec le pois d'Angole. L'apport d'azote ou de phosphore s'est traduit par une augmentation des rendements du sorgho. Ces différences de rendement s'expliquent en partie par les différences de Lai (Leaf area index ou index de surface foliaire), d'interception de la lumière et d'efficacité d'utilisation de la

radiation reçue. L'efficacité de la radiation a été plus élevée (0,64 g/MJ) dans le cas d'application de phosphore ou d'azote que dans le cas du témoin qui n'a reçu ni l'un ni l'autre (0,40 g/MJ). Le précédent légumineuse a eu un effet favorable sur les rendements du sorgho. Parmi les quatre légumineuses étudiées, c'est l'arachide qui a eu l'effet le plus important. Dans l'ensemble, les résultats indiquent un effet favorable des précédents sorgho-légumineuses sur les cultures associées (sorgho-légumineuses également) suivantes. légumineuses étudiées, c'est l'arachide qui a eu l'effet le plus important. Dans l'ensemble, les résultats indiquent un effet favorable des précédents sorgho-légumineuses sur les cultures associées (sorgho-légumineuses également) suivantes.

In the Sudan savanna zone of Nigeria most resource poor farmers often grow their cereals such as sorghum and millet in mixture with legumes like groundnut and cowpea (Okigbo and Greenland, 1976). They usually use tall, late maturing, and photoperiod sensitive local landraces which often suffer from terminal drought during dry years and are not as responsive to fertilizer as are shorter improved cultivars (Curtis, 1968). Cowpea and groundnut varieties used in these mixtures are mostly of fodder type, with low grain yields. The productivity of these systems is low due to several factors including the use of unadapted cultivars, inappropriate management practices, low soil fertility and biotic factors such as insects and diseases, among others.

The farming systems of the West African Semi-Arid Tropics (Wasat) were characterized by long duration bush-fallow periods which help to restore soil fertility (Matlon, 1985). However, due to a rapid population

growth which puts a lot of pressure on the available land, the traditional bush-fallow farming systems has almost disappeared and the fallow rotation period has been shortened considerably (Nagy *et al.*, 1987). In many areas farmers have been constrained to cultivate more marginal lands due to the population pressure. These practices, along with the farmers' practices of burning and removing all the crop residues from the field for fencing, fodder, fuelwood, have contributed to the impoverishment of the soils and to low productivity and have led to increased rate of soil degradation (Norman *et al.*, 1981).

To increase crop production there is a need to improve soil fertility and soil water conservation (Bationo and Mokwunye, 1991; Nagy *et al.*, 1987). Earlier studies have shown that the use of leguminous crops in rotation or as intercrops can enhance soil fertility and improve yields (Ebelhar *et al.*, 1984 ; Papastylianou *et al.*, 1981 ; Pieri, 1985 ; Serafini, 1985). Groundnut and cowpeas are the major leguminous crops used by the farmers. But there are also other leguminous crops such as soybean and pigeonpea which have some potential in these systems, if the right varieties that can fit into the growing period are used.

During 1989 to 1993, four improved sorghum based cropping systems, namely sorghum-groundnut, sorghum-cowpea, sorghum-soybean and sorghum-pigeonpea were studied at the Icrisat research station at Bagauda, in northern Nigeria. From these studies the most promising components including genotypes, row arrangement and density were identified and were integrated into a long term trial which started in 1994. These cropping systems and their sole crops were evaluated under different rotation sequences and fertility levels.

The objective of the study was to examine the effects of rotating these intercrops and their sole crops under varying fertility levels on the productivity and stability of the systems.

## Materials and methods

### Experimental design and crop management

The field experiments were conducted at the Icrisat Research station at Bagauda (11° 40' N, 8° 30' E), 60 km south of Kano in northern Nigeria. The soil on the farm is Plinthic Luvisol. The trial was established in 1994, 1995, and 1996. The four intercropping systems were sorghum-groundnut, sorghum-cowpea, sorghum-soybean and sorghum-pigeonpea. There

were also pure crops of sorghum and the four legumes. A split-plot design with three replications was used. Plot size was 6 x 6 m. Cropping systems were the main plots and fertility levels the sub-plots. The three fertility levels consisted of: F1 = 0 kg N, 0 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0 kg K<sub>2</sub>O /ha; F2 = 0 kg N, 45 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 45 kg K<sub>2</sub>O /ha; F3 = 60 kg N, 45 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 45 kg K<sub>2</sub>O /ha. Single superphosphate and muriate of potash fertilizers were mixed at the rate of 250 and 75 kg/ha respectively to give F2 while Npk (15:15:15) was applied as basal at the rate of 300 kg/ha and about three weeks later a top dressing of calcium ammonium nitrate (Can) was applied at the rate of 58 kg/ha for F3.

Soil samples were taken from each plot to a depth of 30 cm for chemical analysis. Sampling depths were 0-15 and 15-30 cm.

### Growth analysis

Between 37 and 112 days after sowing, plant samples were collected fortnightly from each plot. Two plants of each crop were randomly taken from the outer rows of each plot. Each plant was separated into leaves, stem and panicles. Leaf area was measured with a Licor<sup>R</sup> model 3 100 leaf area meter. Leaf area index was calculated by dividing leaf area by the ground area covered. Plant parts were oven dried at 600 °C and dry matter partitioning into the various plant parts was determined from these dry weights.

### Light Interception

Light interception was measured using a ceptometer every 10 days between 1100 and 1300 hours from 37 to 112 days after planting. The light readings were taken across two rows in the net plots at points marked by permanently fixed pegs. At each fixed point two readings were taken: one above the crop and the other below the canopy. There were three fixed points per net plot for a total of 6 light readings. Percent light intercepted was calculated as the difference between the averages of the three readings taken above the canopy and those taken below it multiplied by 100. Radiation use efficiency was calculated as the amount of dry matter produced per unit of radiation intercepted (g/MJ).

### Yield and yield parameters

Plant counts were taken after thinning (two weeks after planting) and at harvest. At physiological maturity, plant height, grain and fodder yields were measured.



## Results and discussion

### Grain yield

Grain yield data for 1994, 1995 and 1996 are presented in tables I, II, and III. In all the three years there was no significant difference in grain and fodder yields of sorghum between the four intercrops.

Pigeonpea depressed sorghum grain and fodder yields more than the three other legumes: groundnut, cowpea and soybean. Sorghum yields were higher at F2 and F3 than at F1, due to the positive effect of phosphorus and nitrogen on yield. Yields of the four legumes did not differ amongst the three fertility levels. Yields of the legumes were low in all the three years due to probably insect damage, though the crops were sprayed against insect attack.

**Table I.** Yield of groundnut, cowpea, soybean and pigeonpea cultivars grown in mixture and rotation at three fertility levels, Bagauda, Nigeria, rainy season 1994<sup>(1)</sup>.

Treatment	Sorghum <sup>(2)</sup>		Groundnut <sup>(2)</sup>		Cowpea <sup>(2)</sup>		Soybean <sup>(2)</sup>	Pigeonpea <sup>(2)</sup>	
	Grain (t/ha)	Fodder (t/ha)	Pod (t/ha)	Haulm (t/ha)	Grain (t/ha)	Fodder (t/ha)	Grain (t/ha)	Grain (t/ha)	Fodder (t/ha)
<b>Cultivars</b>									
Icsv 400/lcgs 11	1.39	2.65	0.50	1.57	— <sup>(3)</sup>	—	—	—	—
Icsv 400/Tgx 1497 1D	1.19	2.47	—	—	—	—	0.74	—	—
Icsv 400/lt 715	1.64	2.91	—	—	0.45	0.99	—	—	—
Icsv 400/lcpl 87	1.16	2.21	—	—	—	—	—	0.16	1.62
Se	± 0.224	± 0.407	—	—	—	—	—	—	—
<b>Fertility levels (kg/ha)<sup>(4)</sup></b>									
F1	0.91	1.91	0.66	1.60	0.41	0.89	0.60	0.21	1.56
F2	1.72	2.99	0.39	1.64	0.37	0.88	1.00	0.14	1.55
F3	1.41	2.78	0.45	1.48	0.56	1.20	0.62	0.12	1.76
Se	± 0.194	± 0.352	± 0.103	± 0.030	± 0.067	± 0.068	± 0.230	± 0.070	± 0.465
Cv (%)	35	33	25	2	18	8	38	53	35

<sup>(1)</sup> Split plot design with 3 replications, plot size 15 m<sup>2</sup> (main plot = cropping system; sub-plot = F1 = fertility level).

<sup>(2)</sup> Sole crop grain yield; a) Icsv 400 = 2.30 t/ha ; b) lcgs 11 = 1.59 t/ha ; c) lt 715 = 0.98 t/ha ; d) lcpl 87 = 0.26 t/ha ; e)Tgx 1497 1D = 1.21 t/ha.

<sup>(3)</sup> Not Applicable.

<sup>(4)</sup> F1 = 0 N, 0 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0 K<sub>2</sub>O; F2 = 0 N, 45 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 45 K<sub>2</sub>O; F<sub>3</sub> = 60 N, 45 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 45 K<sub>2</sub>O.

**Table II.** Yield of Sorghum, Groundnut, Cowpea, Soybean and Pigeonpea cultivars grown in mixture and rotation at three fertility levels, Bagauda, Nigeria, rainy season 1995<sup>(1)</sup>.

Treatment	Sorghum <sup>(2)</sup>		Groundnut <sup>(2)</sup>		Cowpea <sup>(2)</sup>		Soybean <sup>(2)</sup>	Pigeonpea <sup>(2)</sup>	
	Grain (t/ha)	Fodder (t/ha)	Pod (t/ha)	Haulm (t/ha)	Grain (t/ha)	Fodder (t/ha)	Grain (t/ha)	Grain (t/ha)	Fodder (t/ha)
<b>Cultivars</b>									
Icsv 400/lcgs 11	1.40	3.49	0.15	0.50	— <sup>(3)</sup>	—	—	—	—
Icsv 400/Tgx 1497 1D	1.54	3.43	—	—	—	—	0.54	—	—
Icsv 400/lt 715	1.60	.88	—	—	0.43	0.72	—	—	—
Icsv 400/lcpl 87	1.22	2.84	—	—	—	—	—	—	—
se	± 0.318	± 0.414	—	—	—	—	—	—	—
<b>Fertility levels (kg/ha)<sup>(4)</sup></b>									
F1	0.86	2.19	0.18	0.53	0.37	0.71	0.45	0.07	0.76
F2	1.65	2.68	0.14	0.51	0.52	0.71	0.67	0.07	0.02
F3	1.81	2.60	0.12	0.44	0.40	0.73	0.50	0.08	0.76
Se	± 0.171	± 0.363	± 0.031	± 0.068	± 0.109	± 0.654	± 0.075	± 0.008	± 0.109
Cv (%)	41	39	36	23	43	12	24	19	22

<sup>(1)</sup> Split plot design with 3 replications; plot size 15m<sup>2</sup> (main plot = cropping system ; sub-plot = F1, F2, F3 = fertility level).

<sup>(2)</sup> Sole crop grain yield ; a) Icsv 400 = 2.19 t/ha ; b) lcgs 11 = 0.61 t/ha ; c) lt 715 = 1.29 t/ha ; d) lcpl 87 = 0.10 t/ha ; e)Tgx 1497 1D = 1.22 t/ha.

<sup>(3)</sup> Not Applicable.

<sup>(4)</sup> F1 = 0 N, 0 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0 K<sub>2</sub>O; F2 = 0 N, 45 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 45 K<sub>2</sub>O; F3 = 60 N, 45 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 45 K<sub>2</sub>O.

**Table III.** Yield of Sorghum, Groundnut, Cowpea, Soybean and Pigeonpea cultivars grown in mixture and rotation at three fertility levels, Bagauda, Nigeria, rainy season 1996<sup>(1)</sup>.

Treatment	Sorghum <sup>(2)</sup>		Groundnut <sup>(2)</sup>		Cowpea <sup>(2)</sup>		Soybean <sup>(2)</sup>	Pigeonpea <sup>(2)</sup>	
	Grain (t/ha)	Fodder (t/ha)	Pod (t/ha)	Haulm (t/ha)	Grain (t/ha)	Fodder (t/ha)	Grain (t/ha)	Grain (t/ha)	Fodder (t/ha)
<b>Cultivars</b>									
Icsh 400/lcgs 11	1.05	2.56	0.25	0.73	-3	*	-0.54	*	*
Icsh 400/Tgx 1497 1D	1.25	2.97							
Icsh 400/lt 715	1.28	2.86			0.12	0.47			
Icsh 400/lcpl 87	0.90	2.12						0.20	0.68
Se	± 0.191	± 0.395							
<b>Fertility levels (kg/ha) <sup>(4)</sup></b>									
F1	0.68	1.67	0.29	0.66	0.05	0.42	0.30	0.12	0.68
F2	1.26	2.90	0.23	0.74	0.14	0.47	0.88	0.24	0.80
F3	1.42	3.31	0.22	0.78	0.16	0.50	0.45	0.18	0.56
Se	± 0.135	± 0.343	± 0.029	± 0.059	± 0.025	± 0.174	± 0.053	± 0.024	± 0.209
Cv (%)	40	44	20	14	37	64	17	21	53

<sup>(1)</sup> Split plot design with 3 replications; plot size 15m<sup>2</sup> (main plot = cropping system; sub-plot = F1 = fertility level).

<sup>(2)</sup> Sole crop grain yield ; a) Icsh 400 = 1.86 t/ha; b) lcgs 11 = 0.80 t/ha; c) lt 715 = 0.39 t/ha; d) lcpl 87 = 0.40 t/ha.

e)Tgx 1497 1D = 0.85 t/ha;

<sup>(3)</sup> Not Applicable.

<sup>(4)</sup> F1 = 0 N, 0 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0 K<sub>2</sub>O; F2 = 0 N, 45 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 45 K<sub>2</sub>O; F3 = 60 N, 45 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 45 K<sub>2</sub>O.

## Leaf Area Index and Light Interception

In all the three years, percent light interception and leaf area index of sorghum were higher at F2 and F3 than at F1 (figures 1, 2, 3, 4, 5 and 6). This explains, in part, the differences in yields observed between the fertility treatments.

## Radiation use efficiency

In 1994, radiation use efficiency was higher (0.56 g/MJ) at F2 and F3 than at F1 (0.43). In 1995, radiation use efficiency was higher (0.64 g/MJ) at F2 and F3 than at F1 (0.43 g/MJ). In 1996, radiation use efficiency was greater (0.58-0.64 /MJ) at F2 and F3 than at F1 (0.42 /MJ). As in the case of yields, phosphorus and nitrogen had a positive effect on light use efficiency.

## Effect of rotation on yields

The preceding legumes had positive effects on the yield of sorghum (figure 7) when compared to the sorghum yield after sorghum or fallow in both 1995 and 1996. Among the four legumes, groundnut had the largest effect on yields of sorghum. This confirms some of the results of other studies.

## Land Equivalent Ratio (Ler)

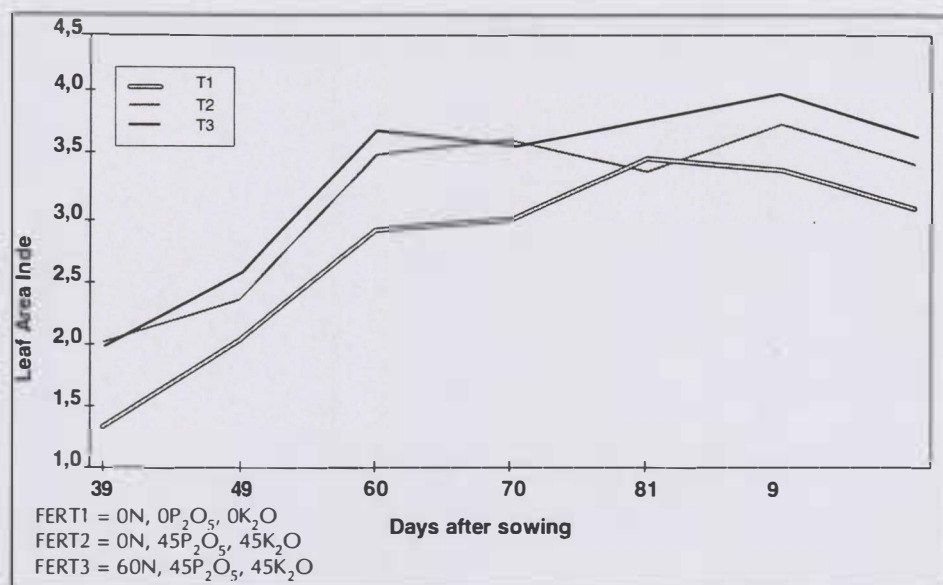
The Land Equivalent Ratio of sorghum-soybean intercrop was highest. Overall the Lers of all the four intercrops were greater in 1995 and 1996 than in 1994, indicating some positive effect of the previous intercrops on the performance of the subsequent intercrops (figure 8).

## Conclusions

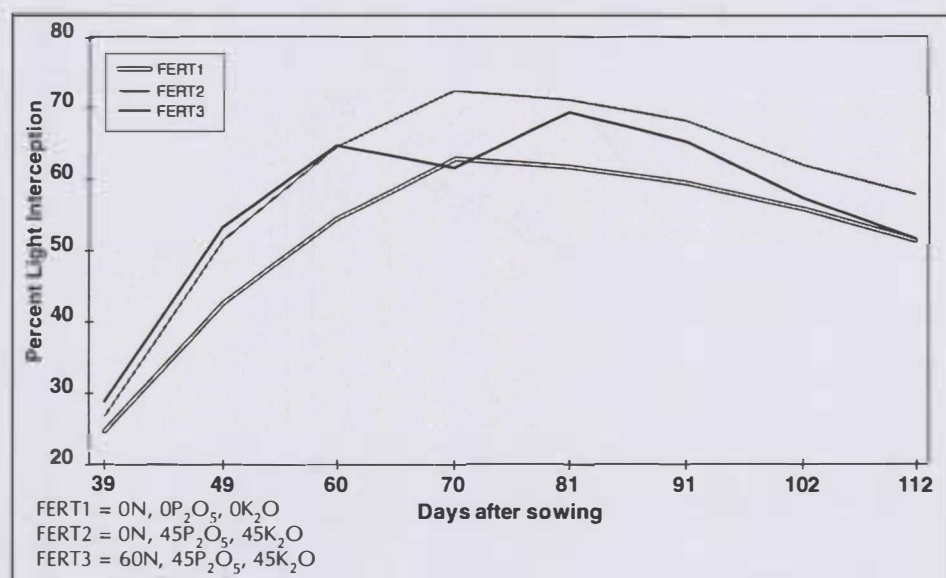
These results showed that the preceding legumes in rotation with sorghum had a positive effect on the yields of the cereal. Among the four legumes groundnut appeared to have the largest effect on sorghum yields. Sorghum yields did not differ among the four intercrops. Nitrogen and phosphorus increased sorghum yields. Differences in sorghum yields between the varying fertility levels can be explained by the differences observed in leaf area index, light interception and radiation use efficiency.

## Acknowledgements

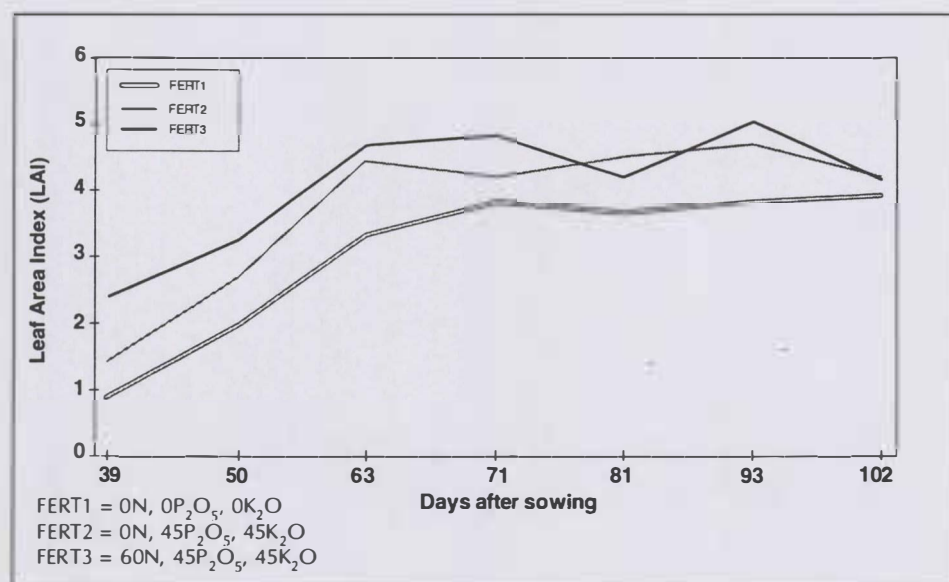
The author gratefully acknowledged the technical assistance of Messrs E.E. Makeri, James Jayeoba, Chris Akpotor, Saidu Amedu, Mohammed Yahaya and Sunday Amedu. He further wishes to thank Messrs V.R. Prabhakar and James Jayeoba for the statistical analysis of the data.



**Figure 1.** Leaf Area Index of Sorghum, Iscv 400 at 3 fertility levels. Bagauda, Nigeria, 1994.



**Figure 2.** Percent light interception of sorghum, Iscv 400 at 3 fertility levels. Bagauda, Nigeria, 1994.



**Figure 3.** Leaf Area Index of Sorghum, Iscv 400 at 3 fertility levels. Bagauda, Nigeria, 1995.



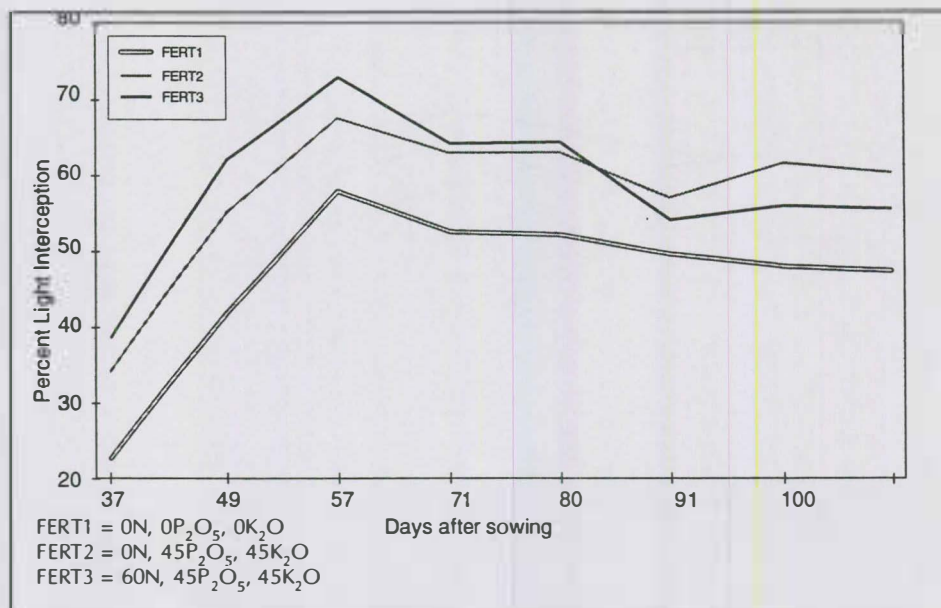


Figure 4. Percent light interception of sorghum, Iscv 400 at 3 fertility levels. Bagauda, Nigeria, 1995.

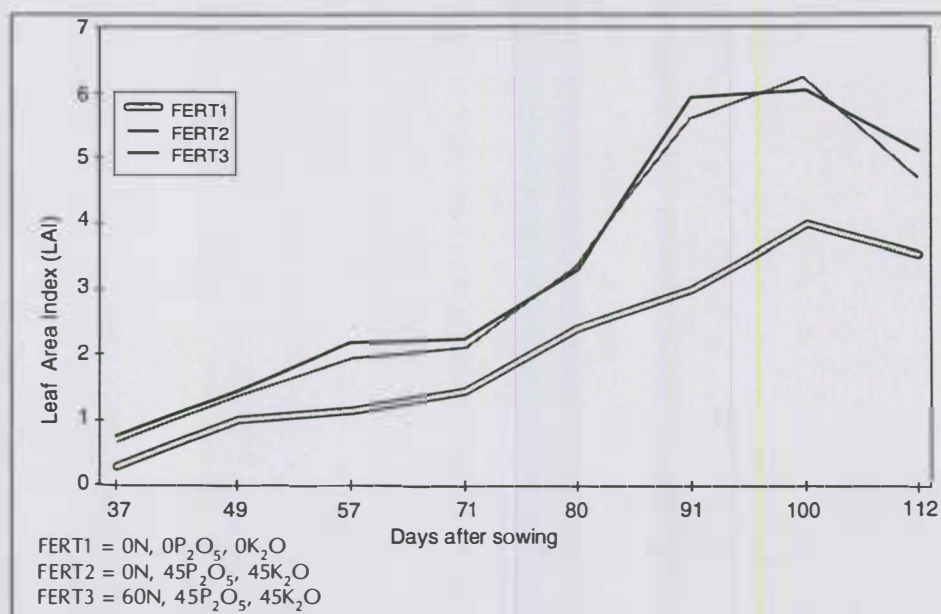


Figure 5. Leaf Area Index of Sorghum, Iscv 400 at 3 fertility levels. Bagauda, Nigeria, 1996.

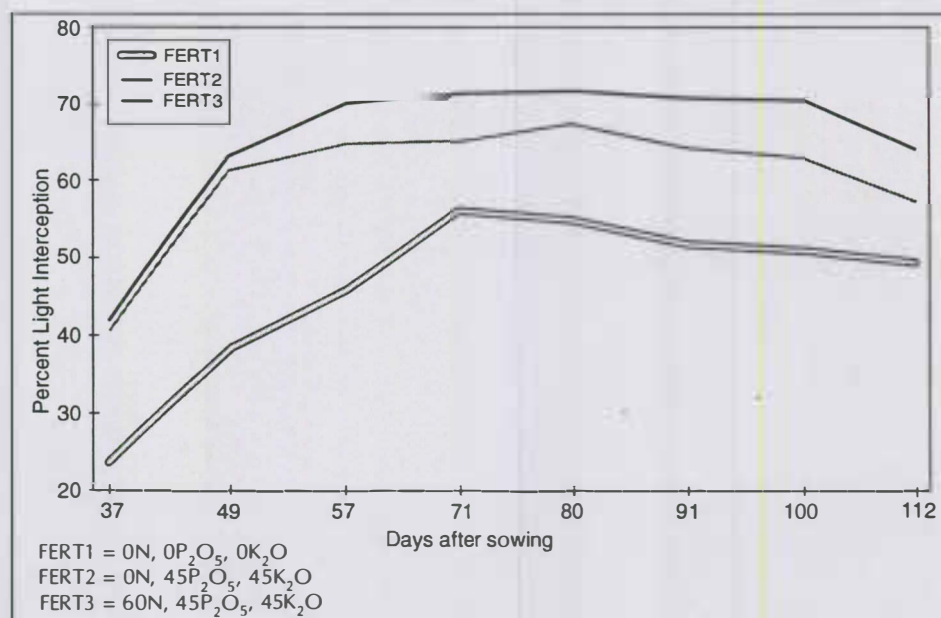
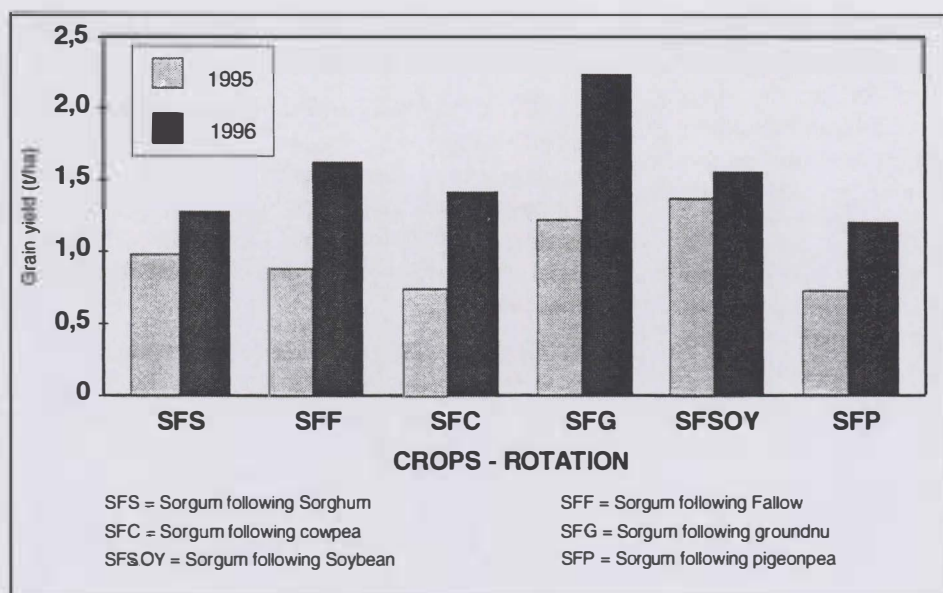
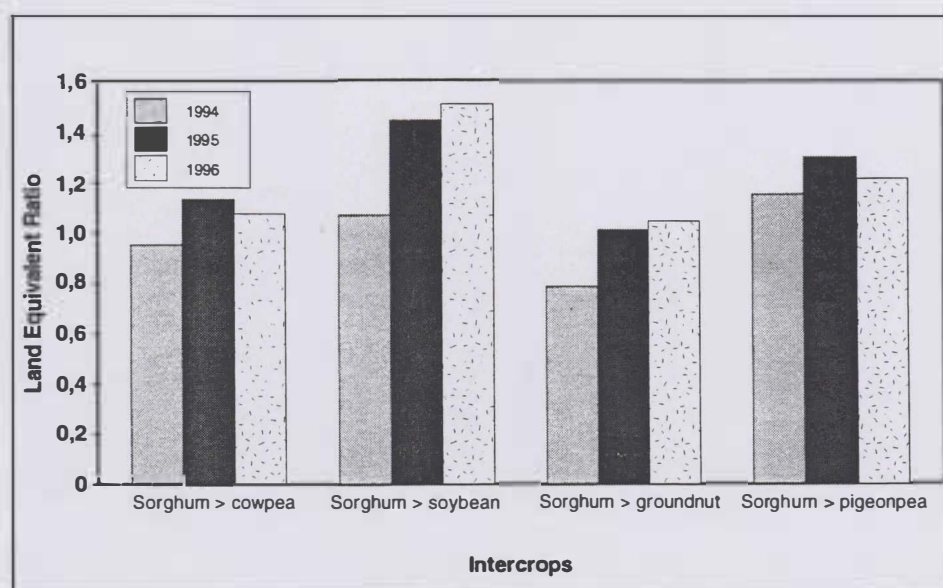


Figure 6. Percent light interception of sorghum, Iscv 400 at 3 fertility levels. Bagauda, Nigeria, 1996.



**Figure 7.** Grain yield (t/ha) of sorghum, ICSV 400 under different rotations at fertility 1 (0 N, 0 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0 K<sub>2</sub>O), Bagauda, Nigeria, 1996.



**Figure 8.** Land Equivalent Ratio of intercrops of sorghum and legumes, (groundnut, pigeonpea, cowpea and soybean) in rotation, Bagauda, Nigeria, 1996.

## References

- BATIONO A., MOKWUNYE A.U., 1991. Alleviating soil fertility constraints to increased crop production in West Africa: The experience in the Sahel. *Fertilizer Research* 29 : 95-115
- CURTIS D. L., 1968. The relation between the date of heading of Nigerian sorghum and the duration of the growing season. *Experimental Agriculture* 4 : 215-225.
- EBELHAR S. A., FRYE W. W., BIEVINS R. L., 1984. Nitrogen from legume cover crops for no-tillage corn. *Agronomy Journal* 75 : 61-66.

MATLON P. J., 1985. A critical review of objectives, methods and progress to date in sorghum and millet improvement: A case study of ICRISAT/Burkina Faso. In *Appropriate technologies for farmers in Semi-Arid West Africa*. Ohm HW and Nagy JG (eds) International Programs in Agriculture, Purdue University. West Lafayette, Indiana.

NAGY J. G., SANDERS J. H., OHM H. W., AMES L. L., 1987. Technology development to increase cereal production in the West African Semi-Arid tropics (Wasat). In *Food grain production in semi-arid Africa*. MENYONGA J.M., BEZUNEH T. and YOUDEOWEI A. (eds). The Coordination Office Oau/Strc-Safgrad, Ouagadougou, Burkina Faso.

NORMAN D.W., NEWMAN M.D., OUEDRAOGO I., 1981. Farm and village production systems in the Semi-Arid Tropics of West Africa. An interpretive review of research: ICRISAT Research Bulletin No.4. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (Icrisat), Patancheru, Andhra Pradesh, India.

OKIGBO B. N., GREENLAND D. J., 1976. Intercropping systems in tropical Africa. Iita Reprint Series No. 96. Multiple cropping. International Institute of tropical Agriculture Oyo Road, Ibadan, Nigeria.

PAPASTYLIANOU I., PUCKRIDGE D.W., CARTER E. D., 1981. Nitrogen nutrition of cereals in a short-term rotation. I. Single season treatments as a source of

nitrogen for subsequent cereal crops. Australian Journal of Agricultural Research 32 : 703-712.

PIERI C., 1985. Fertilisation des cultures vivrières et fertilisation des sols en agriculture paysanne subsaharienne : l'expérience de l'IRAT. *In* Technologies appropriées pour les paysans des zones semi-arides de l'Afrique de l'Ouest. Ohm HW and Nagy JG (eds). Université de Purdue, West Lafayette, Indiana.

SERAFINI P. G., 1985. Intercropping systems : the Icrisat-Mali experience, 1979-1983. *In* Les cultures associées dans les zones sahéliennes et sahélo-soudaniennes de l'Afrique de l'Ouest. Liaison-Sahel n° 3, p 154-179.



# Le sorgho et les autres céréales dans les systèmes de culture de la zone Mali-Sud

F. GIRAUDY<sup>1</sup>, J. GIGOU<sup>2</sup>, M. NIANG<sup>1</sup>

1. Cmdt, Compagnie malienne pour le développement des textiles, BP 487, Bamako, Mali

2. Icrisat-Cirad, BP 320 Bamako, Mali

**Résumé** — A partir du dispositif de suivi-évaluation de la Cmdt, il est possible de mieux comprendre la place qu'occupent le sorgho et les autres céréales sèches dans les systèmes de production de la zone Mali-Sud. Après avoir exposé les dispositifs de collecte des données agricoles de la Cmdt, la communication présente différents aspects des systèmes de culture. Ceux-ci sont avant tout basés sur les céréales (en termes de superficie), le coton procurant la plus grande partie des revenus monétaires. Le sorgho est réparti sur toute la zone d'étude, à l'exception de la région de Sikasso où il est plus rare. Le maïs est plus présent dans les régions du sud, alors que le mil prend plus d'importance vers le nord. Le sorgho, comme le mil, est très peu intensifié, avec une utilisation d'engrais et de fumure organique assez faible. Les rendements ne sont pas très élevés, mais corrects pour des systèmes extensifs. Les paysans font leur choix entre les espèces de céréales sèches en fonction des conditions climatiques et édaphiques, de leur niveau d'intensification, de la place du coton dans les systèmes de production, ainsi que de leurs besoins personnels.

**Abstract** — Sorghum and other cereals in the southern Mali cropping systems. A better understanding of the status of sorghum and other rain-fed cereal crops in the production systems of Mali-Sud, the southeastern part of Mali, can be obtained from the CMDT monitoring network. The agricultural data collection system used by CMDT is presented and several aspects of cropping systems summarized. These systems are mainly cereals based (in terms of cultivated area) while the cotton crop provides most of the monetary income. Sorghum is distributed over the entire study area, with the exception of the Sikasso region, where it is less common. Maize is more common in the south of the area, while millet becomes more important towards the north. Production practices for sorghum, like millet, are generally low input, with low fertilizer and manure application rates. Grain yields remain low, although

acceptable for extensive systems. Farmers chose between the rain-fed cereals crop species, according to the climatic and edaphic conditions, the level of intensification, the status of cotton in the production systems, and their personal needs.

Le but de cette communication est de présenter la place du sorgho dans les systèmes de production de la zone Mali-Sud et en particulier de montrer comment il se positionne par rapport au mil et au maïs. Ces cultures, proches par de nombreux aspects sont-elles plutôt en concurrence ou complémentaires ? Telles sont les questions auxquelles nous tenterons de répondre.

Après avoir présenté le dispositif de collecte de données, la place du sorgho et des autres céréales<sup>(1)</sup> dans les systèmes de production sera discutée. Ensuite seront explicités les itinéraires techniques sur sorgho tels qu'ils sont pratiqués par les agriculteurs de la zone. Enfin, une discussion sur les avantages comparatifs de chacune des espèces étudiées sera présentée ainsi que les premières hypothèses concernant les raisons des choix des paysans.

(1). Dans la plus grande partie de cette communication, l'expression les « céréales » désignera les trois espèces citées ci-dessus ou leurs associations. Le riz et le fonio sont aussi cultivés dans la zone et ils peuvent être, dans certains cas, aussi importants que les céréales prises en compte mais, généralement, dans des systèmes différents de ceux qui sont étudiés (bas-fonds, terres marginales...).

## Forces et faiblesses des dispositifs de collecte d'information de la Cmdt

La Cmdt (Compagnie malienne pour le développement des textiles) dispose de deux dispositifs d'enquête lui permettant de mieux connaître et de suivre les évolutions des systèmes de production ruraux. Le premier, exhaustif mais plus superficiel, fonctionne avec l'encadrement et les secrétaires techniques des associations villageoises. C'est le « suivi opérationnel », placé sous la responsabilité de la division statistiques du service de vulgarisation. Le deuxième, fonctionnant avec un échantillon de villages représentatifs, étudie plus en profondeur les systèmes de production ruraux. Il est placé sous la responsabilité du service « suivi-évaluation ».

### Suivi opérationnel

Le suivi opérationnel (division statistiques) est l'outil statistique de la direction technique du développement rural. La collecte des données sur les exploitations encadrées est réalisée, en collaboration, par l'encadrement et les secrétaires des associations villageoises. Les mesures de superficies à la boussole sont relevées uniquement sur le coton. En revanche, les données sont exhaustives.

Dans la collecte des données, le sorgho et le mil sont regroupés sous une même rubrique. C'est pourquoi ces données n'ont pas été utilisées pour cette communication.

### Suivi-évaluation

La Cmdt a un service de suivi-évaluation qui étudie 41 villages (en 1995) représentatifs de la zone Mali-Sud, choisis à partir d'un zonage agro-climatique et socio-économique. Dans chacun de ces villages, un enquêteur réside et recense toutes les exploitations et toutes les parcelles cultivées. Sur un échantillon d'entre elles (entre la moitié et un quart selon la taille du village) comprenant toutes les cultures, l'enquêteur mesure les productions et assure le suivi de toutes les opérations culturales. Cela permet de connaître avec précision les surfaces cultivées et les itinéraires techniques adoptés par les agriculteurs<sup>(2)</sup>.

(2) CMDT, 1996. Annuaire statistique du suivi-évaluation. Campagne 1995-1996. Cmdt, Bamako, Mali, 60 p.

## Des systèmes de production basés sur les céréales

Les céréales occupent 2/3 des surfaces et sont prioritaires. Bien que les systèmes de production de la zone soient connus comme des « systèmes de production cotonniers », ils sont très nettement dominés, en surface, par les céréales qui occupent, en moyenne, les deux tiers des superficies cultivées. De plus, la première priorité pour le paysan, c'est de remplir son grenier : dans sa stratégie de campagne, le paysan cherche avant tout à assurer sa sécurité alimentaire et sa priorité est de disposer d'une production suffisante de céréales.

Le coton, qui procure la plus grande partie des ressources monétaires, n'occupe que 29 % des superficies totales cultivées. Dans les cas les plus courants, il est compris entre un quart et la moitié de la surface. Les exploitations qui cultivent plus de la moitié de la surface en coton sont rarissimes pour plusieurs raisons explicitées ci-après.

Sauf cas particuliers, les légumineuses et autres cultures secondaires occupent moins de 10 % de la surface. Une grande partie d'entre elles est cultivée par les femmes.

### La gestion des risques

Pour comprendre les systèmes de production et les mécanismes de décision des agriculteurs, il faut tenir compte de leur appréhension des risques, et notamment des risques liés au climat et aux variations de prix sur le marché. De ce fait, les paysans hésitent à investir dans l'intensification tant qu'ils ne sont pas certains que la production commercialisée couvre au minimum le prix des intrants, même en cas de mauvaise campagne.

### Une utilisation limitée d'intrants agricoles

Les intrants sont très peu utilisés sur les céréales en raison des risques climatiques et parce que ces cultures ne sont pas considérées comme des cultures de rente. En règle générale, les surplus sont stockés. Le fait de pouvoir faire état de plusieurs récoltes de réserve est une marque de prestige, notamment en pays Minianka et Sénoufo. Des céréales sont vendues quand des besoins monétaires inattendus se manifestent ou pour palier l'absence de cultures de rente (San, mais aussi souvent Bougouni et Kita).

En zone cotonnière, des ventes de céréales interviennent pour préfinancer les travaux de récolte du coton, chaque année, en octobre.

Les prix fluctuent énormément et, à la période de la récolte, ils sont généralement très bas. L'agriculteur



sait qu'il a peu de chances de retrouver son investissement à partir des ventes. Il peut certes compenser en faisant payer les intrants pour les vivriers par le coton, ce qu'il fait parfois, mais cela restera forcément limité.

### Une production légèrement excédentaire en année normale

Le paysan cultive les céréales de manière relativement extensive pour ne pas prendre de risque financier, mais il sème une surface un peu plus grande que ce dont il a besoin pour s'assurer contre les risques de mauvais rendement. De ce fait, il est normal de trouver une production légèrement excédentaire en année normale.

Les exploitations cotonnières, grâce à l'équipement agricole, à la production de fumure organique, à l'utilisation d'engrais minéraux sur le coton (arrière-effets) et à une meilleure gestion du calendrier cultural, sont nettement excédentaires en céréales.

En revanche, hors zone cotonnière, il y a peu d'intensification et les exploitations dépendent beaucoup plus des ventes de céréales pour leurs revenus monétaires. La production est donc moins bien assurée et la sécurité alimentaire est plus fragile.

### L'équipement des exploitations influence peu l'importance du sorgho

Certes, sur l'ensemble des exploitations, les exploitations les mieux équipées, de types A et B, produisent plus de coton et réservent aux céréales un pourcentage de la superficie cultivée un peu plus faible que les exploitations peu ou pas équipées, de types C et D (figure 1). Mais la répartition entre les grandes

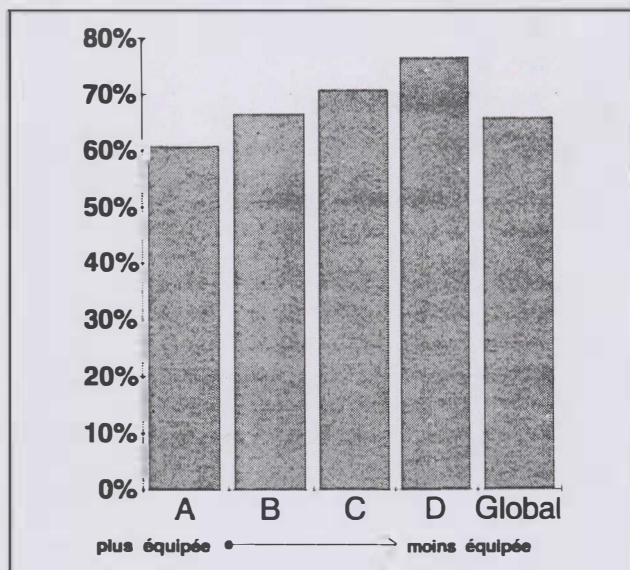


Figure 1. Pourcentage de céréales cultivées par rapport à la surface totale selon les types d'exploitation.

Tableau I. Superficies moyennes par exploitation en maïs, sorgho et mil (ha/exploitation).

	Maïs	Sorgho	Mil
Bougouni	1,12	1,87	1,90
Fana	0,76	3,10	3,08
Koutiala	0,94	3,29	3,32
San	0,29	2,79	2,77
Sikasso	1,71	0,39	0,39
Global	0,95	2,31	2,31

céréales est à peu près la même dans tous les cas. En revanche, le pourcentage d'exploitations cultivant du fonio, culture plus rustique et de soudure, est plus élevé parmi les exploitations non équipées.

### Le sorgho est dominant dans presque toute la région

La répartition des différentes cultures dans les villages échantillons du suivi-évaluation est présentée sur les figures 2, 3 et 4. Le sorgho est, avec le mil, la céréale la plus répandue dans l'ensemble de la région. Les moyennes globales cultivées par exploitation des trois grandes céréales sont reportées dans le tableau I.

Le sorgho est surtout répandu dans les régions du nord de la zone Mali-Sud, dans lesquelles plus de 90 % des exploitations en cultivent plus de 3 ha en moyenne. La figure 3 fait apparaître ce qui est communément appelé le « bassin cotonnier » centré sur la région de Koutiala (sauf sa partie nord), le nord de la région de Sikasso, le sud-ouest de la région de San et l'est de la région de Fana. Plus au nord, on sort progressivement de la zone cotonnière et l'importance de cette culture diminue.

En surfaces moyennes cultivées, le mil est équivalent au sorgho dans la plupart des régions, mais il est cultivé par un pourcentage plus faible d'exploitations, avec des surfaces emblavées plus grandes. Il apparaît donc une spécialisation de certaines exploitations dans la culture du mil, peut-être en réponse à des contraintes de sol particulières.

Par contre, dans la région de Sikasso, le rôle du sorgho est plutôt secondaire : seulement 30 % des exploitations en cultivent. Dans cette région, la céréale dominante est le maïs. Le mil et le sorgho sont tous deux secondaires. Ils occupent des surfaces comparables, mais le sorgho n'est cultivé que par 30 % des exploitations (sur 1,29 ha) alors que le mil est cultivé par 60 % des exploitations (sur 0,65 ha). C'est aussi la région dans laquelle les cultures de bas-fonds (tubercules et riz notamment) ont le plus d'importance.



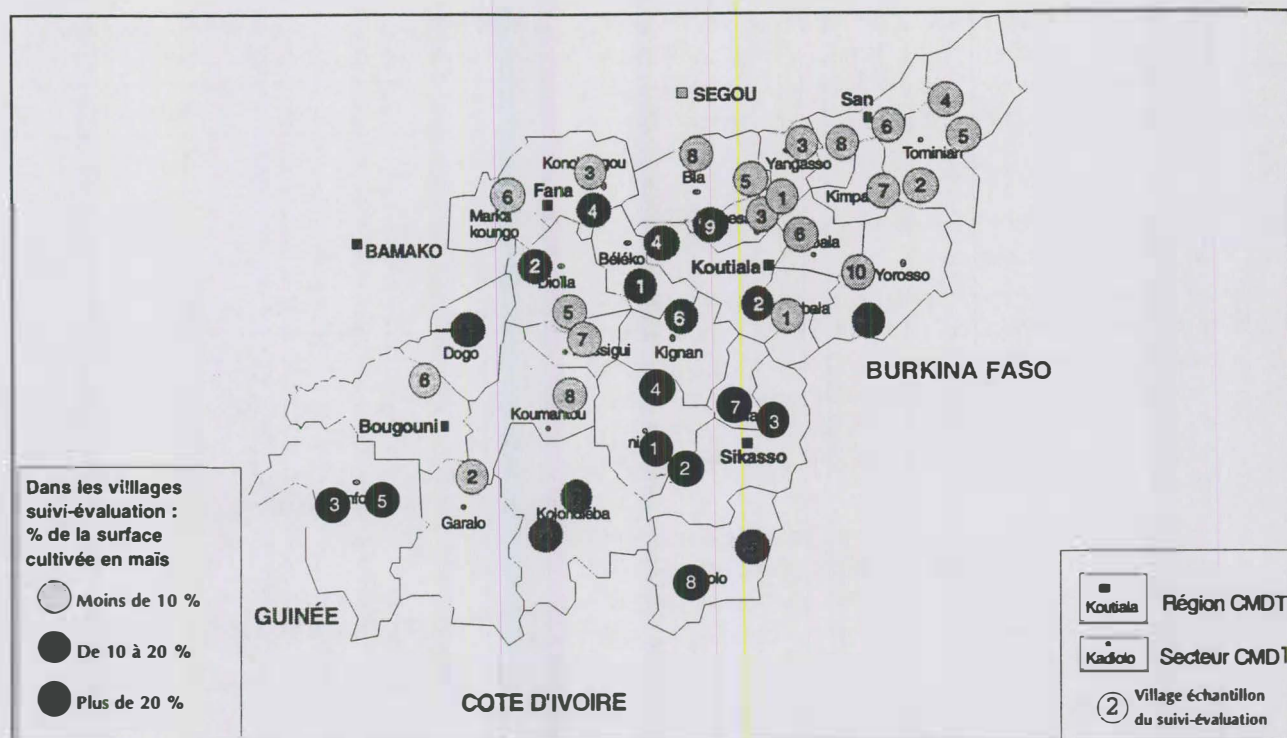


Figure 2. Importance relative du maïs.

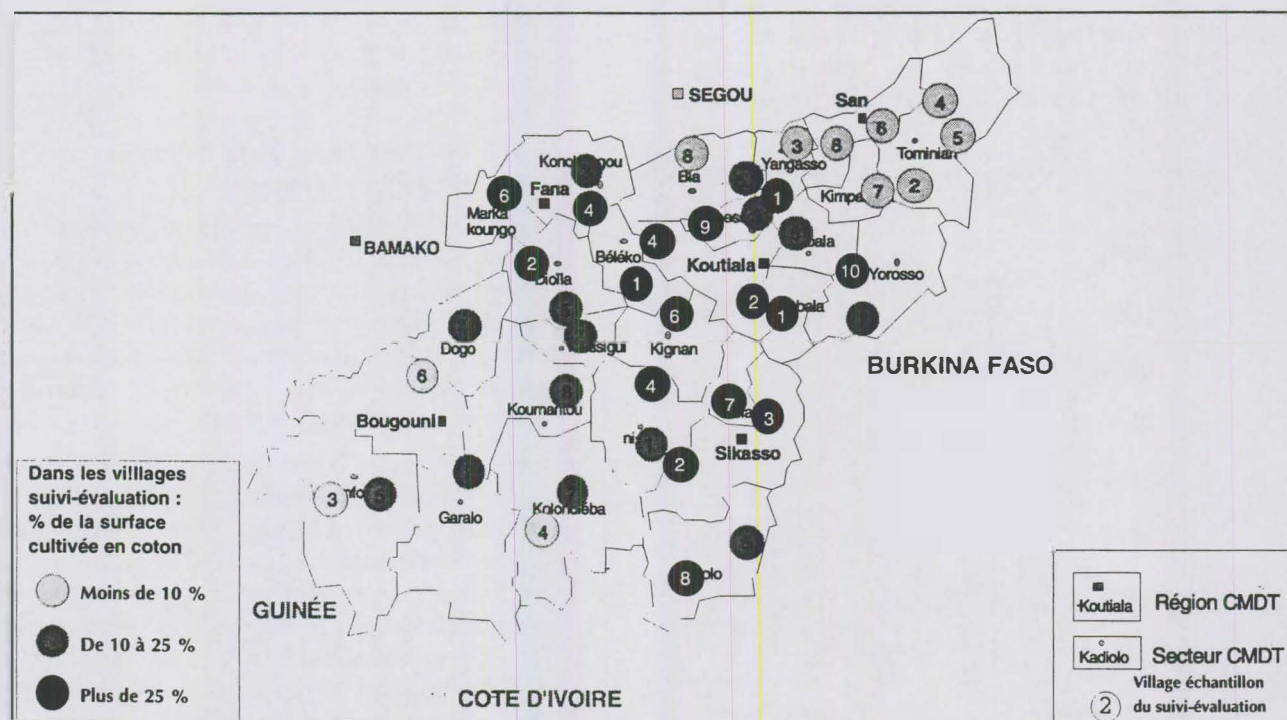


Figure 3. Importance relative du coton.

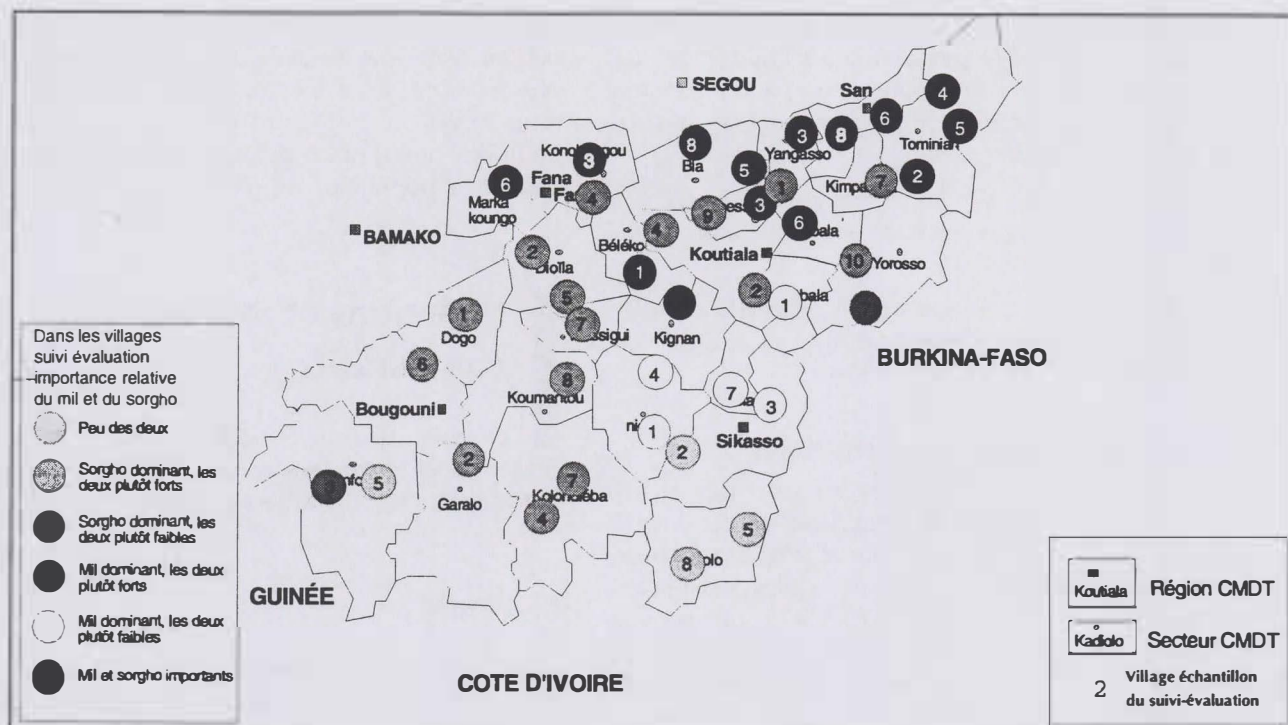


Figure 4. Sorgho et mil : complémentarité ou concurrence.

## Le sorgho, peu intensifié, bénéficie des arrière-effets de la culture cotonnière

D'une manière générale, la culture du sorgho est assez peu intensifiée : les variétés cultivées sont rustiques et la production n'a pas un but commercial. Même s'ils en vendent parfois une petite quantité, les paysans cultivent le sorgho d'abord et surtout pour remplir leurs greniers. Dans ces conditions, les intrants doivent être supportés par le coton et ils sont utilisés uniquement pour corriger des situations où la dégradation de la fertilité est forte.

Par contre, cultivé en rotation avec le coton, le sorgho bénéficie des arrière-effets, aussi bien de la fumure minérale que de la fumure organique. De plus, le fait d'avoir une culture de rente sur l'exploitation permet de mieux garantir la sécurité alimentaire, en évitant de brader la récolte au moment où les prix sont les plus bas. Même si le paysan vend des grains, il peut attendre une remontée des prix sur les marchés.

### Semis direct à San, labour au sud

La culture du sorgho n'est pas très différente des autres cultures sèches. Elle est dominée par le labour

direct. Dans certains cas, les paysans pratiquent un billonnage direct ou se contentent d'un simple grattage.

Le semis direct est largement pratiqué dans la région de San, ainsi que sur 14 % des parcelles à Bougouni. Souvent, les paysans sèment à la corde sur les anciens billons de coton, puis font un travail du sol dans les interlignes avec un multiculteur.

Dans les régions où l'équipement agricole est important (Fana, Koutiala et Sikasso), le semis mécanique est très répandu.

### Priorité des semis entre céréales

Suivant les cas (priorités des paysans, pluviométrie), le sorgho tolère d'être semé précocement avant le maïs et le mil ou au contraire tardivement après ces deux céréales. Il est souvent semé en premier dans la région de San.

Les semis se font généralement entre la mi-juin et la mi-juillet. D'une manière générale, les exploitations équipées pratiquent des semis plus précoces que les exploitations non équipées.

### Entretien soigneux des cultures

La quasi-totalité des parcelles est sarclée au moins une fois et plus de la moitié deux fois ou plus. Dans les régions de Koutiala et Fana, les deuxième sarclages sont les plus fréquents. Quelques cas d'utilisation d'herbicide se rencontrent dans la région de

Sikasso, mais rarement sur toute la parcelle et à la dose préconisée : le paysan utilise l'herbicide, soit pour une tache où l'enherbement est particulièrement important, soit simplement pour retarder un sarclage et gérer le calendrier cultural.

Le buttage est fait sur 36 % des parcelles (65 % à Fana). Il est plus fréquent dans les exploitations équipées.

Le démariage est pratiqué sur un quart des parcelles suivies. Il est plus fréquent à Bougouni et à Sikasso, plus rare à San.

### Utilisations d'engrais peu fréquentes

L'utilisation d'engrais minéraux est assez rare : 11 % des parcelles reçoivent du complexe Npk et 3 % de l'urée. À Koutiala, respectivement 20 % et 6 % des parcelles en reçoivent. L'engrais le plus souvent utilisé est le complexe céréale (15-15-15), acheté spécialement à cette intention. Il arrive aussi assez fréquemment (entre un tiers et un quart des parcelles fumées) que les agriculteurs utilisent sur sorgho une partie du complexe destiné au coton (14-22-12 + S et B). L'urée est encore moins utilisée sur sorgho que le complexe. Aucune des parcelles observées à Bougouni et Fana, seulement 1 % des parcelles de San, 5 % à Sikasso et 6 % à Koutiala en ont reçue.

Même lorsqu'un paysan décide de mettre de l'engrais sur ses parcelles de sorgho, les doses restent faibles. Il ne s'agit, dans son esprit, que de corriger des déficiences pour éviter un rendement trop faible et non de fertiliser pour obtenir un rendement élevé. Les doses moyennes sont de 24 kg d'urée et de 31 kg de complexe (22 kg pour le complexe coton et 42 kg pour le complexe céréale).

### Utilisation modeste de la fumure organique

Les parcelles recevant de la fumure organique sont relativement peu fréquentes, 16 %, soit à peu près une sur six. Elles sont beaucoup plus nombreuses à San : une parcelle sur trois.

En moyenne, la fumure organique est utilisée une année sur trois. En zone cotonnière, dans une rotation coton - céréale - céréale, c'est en général le coton qui reçoit la fumure organique. Dans les systèmes non cotonniers de San, le sorgho et le mil sont alors les principales cultures et c'est le sorgho, plus exigeant, qui reçoit le plus souvent la fumure organique. A San, la fumure organique provient souvent de compostières ou de simples tas d'ordures, alors que le fumier de parc est plus fréquent dans les autres régions.

### Rendements moyens satisfaisants.

Les rendements moyens du sorgho sont de 838 kg/ha (943 kg à Koutiala). Ces rendements modestes

satisfont aux objectifs des paysans pour cette culture peu intensifiée. À Koutiala où la pression foncière est plus forte, on observe un début d'intensification et les rendements moyens sont plus élevés. Ils sont au contraire plus faibles à Sikasso et Bougouni où la densité de population est plus faible.

## Variations et avantages comparatifs

D'après Gigou et Wey (1994)<sup>(3)</sup>, le sorgho présente des avantages comparatifs par rapport aux autres céréales, notamment au maïs.

### Le climat

Maïs, sorgho puis mil sont adaptés respectivement à des climats pluvieux, intermédiaires, puis secs. Le sorgho et le mil résistent mieux que le maïs aux périodes de sécheresse et reprennent leur croissance plus rapidement après un stress, mais leurs grains sont plus sensibles à l'humidité. En Afrique de l'Ouest le sorgho est souvent dominant dans les zones à pluviométrie comprise entre 800 et 1 000 mm. Il y a cependant de vastes zones de recouvrement où les trois céréales sont cultivées. La zone Mali-Sud suit bien cette tendance générale.

### Le sol

Le maïs est adopté quand le sol est riche ou fertilisé. Par contre, les variétés traditionnelles de sorgho ou de mil, à cycle long et à croissance lente, utilisent très bien un sol pauvre.

Dans le cas d'une texture très sableuse ou en présence d'une cuirasse à faible profondeur, le mil est généralement préféré.

### Le calendrier cultural

Les sorghos et les mils photopériodiques présentent un net avantage sur les autres céréales, car ils permettent une plus grande souplesse dans les dates de semis. Les variétés non photosensibles à cycle court peuvent être semées précocement pour la production de soudure ou tardivement pour éviter les problèmes d'humidité à la récolte.

(3) GIGOU J., WEY J., 1994. Le sorgho et le maïs dans les systèmes de culture. In compte-rendu Atelier céréales 31-08/01-09-1994. Programme céréales Cirad-Ca, Montpellier, France, p. 78-81.



D'une manière générale, les cultures à faible potentiel de rendement sont appréciées si elles offrent une grande souplesse dans les dates de semis, de sarclage, des possibilités dans les associations etc. Cela permet ainsi de mieux utiliser la main-d'œuvre. Tant qu'il y a de la terre disponible, la productivité du travail en période de pointe est plus importante que le rendement par ha cultivé.

## **Les choix des paysans : sorgho, maïs ou mil ?**

Il apparaît que les trois grandes céréales présentées ici et leurs diverses associations se rencontrent dans la zone (bien que le sorgho soit moins fréquemment associé que le maïs et le mil). Les paysans choisissent en fonction de leurs contraintes agro-écologiques et socio-économiques.

### **Sorgho ou maïs ?**

D'une manière générale, le maïs devient plus important quand la pluviométrie augmente et que le système s'intensifie. Dans les systèmes peu intensifiés de Bougouni, le sorgho domine assez nettement le maïs. À Sikasso, dans les mêmes conditions de culture peu intensive, une majorité de paysans préfèrent l'association maïs-mil ou le mil pur. Quand la culture devient plus intensive, à Sikasso comme dans certaines zones de Bougouni, le maïs pur est préféré.

### **Sorgho ou mil ?**

Vers le nord, l'importance du sorgho et du mil va grandissant. Dans les parties les plus septentrionales de la zone Mali-Sud, le mil est la céréale dominante, mais avec toujours une part réservée au sorgho.

Quand ces deux céréales cohabitent, il est difficile de donner les raisons qui poussent un paysan à choisir l'une ou l'autre. Le mil supporte les sols très sableux et il résiste sans doute mieux à la sécheresse et aux sols acides ou peu fertiles. Le sorgho profite probablement mieux des arrière-effets de la culture du coton : 27 % des parcelles de sorgho ont pour précédent le coton, contre seulement 18 % pour le mil.

Le choix se fait probablement en fonction du sol, du nombre d'années de culture ou du précédent mais surtout en fonction des besoins du paysan, qui doit combiner les réserves de différents types de grains pour des usages différents. Le paysan a aussi le choix entre différentes variétés de chaque espèce en fonction de leur aptitude à différentes utilisations (tô, bière, bouillie...).

## **Conclusions**

En définitive, les grandes céréales utilisées par les paysans de la zone Mali-Sud ne sont pas réellement concurrentielles, mais plutôt complémentaires et trouvent chacune leur place dans les systèmes de culture de la zone.

Le sorgho, cultivé de façon peu intensive, est bien adapté aux contraintes de l'ensemble de Mali-Sud. Dans les régions de Bougouni et Sikasso, l'intensification des céréales a tendance à favoriser le maïs. Plus au nord (Fana, Koutiala), le sorgho a une place importante dans les systèmes de production « cotonniers », où il profite des arrière-effets de la fumure minérale et organique apportée sur le coton. Dans les parties les plus septentrionales, le mil est largement utilisé, mais jamais exclusivement.

Les choix des paysans ne se font pas au hasard, mais en fonction des besoins de la consommation familiale, de la situation et des objectifs de l'exploitation, ainsi que des contraintes climatiques, édaphiques et socio-économiques de la région.

# Les difficultés pour maintenir la fertilité des sols en cultures paysannes

M. KONE

ler, Programme coton, BP 186, Sikasso, Mali

M. D. DOUMBIA

ler, Sotuba, BP438, Bamako, Mali

**Résumé** — De nos jours, la monétisation de l'agriculture a induit de fortes modifications des systèmes traditionnels avec des jachères de longue durée, ce qui entraîne de sérieuses difficultés pour maintenir la fertilité des terres et la durabilité des agrosystèmes céréaliers. Les conditions agro-météorologiques contraignantes avec une pluviométrie irrégulière et souvent insuffisante, un ensoleillement intense et des vents chauds et secs ont des effets dévastateurs sur les terres cultivables et leur potentiel de production. La faible fertilité naturelle des sols, leur dégradation physico-chimique prononcée dès leur mise en culture, leur forte perméabilité et leur très faible résistance à l'érosion engendrent de faibles rendements. La forte pression démographique a entraîné la disparition de la jachère et la saturation de l'espace cultivable. L'exploitation des zones marginales et le développement de techniques culturales érosives favorisent la dégradation des sols à un rythme alarmant. Le droit coutumier d'exploitation des terres et la pauvreté des populations rurales rendent impossibles les investissements qui préserveraient le capital foncier. Les bilans minéraux déficitaires des systèmes de culture, l'acidification des sols et la diminution rapide des taux de matière organique conjugués avec des doses faibles d'engrais minéraux (coton, arachide, tabac), et l'extensification des cultures vivrières, entraînent un déclin rapide du potentiel de production et une dégradation continue des sols. En définitive, lier la gestion de la fertilité des sols au développement du marché des intrants et des produits agricoles dans le cadre d'une stratégie nationale est indispensable pour assurer le maintien de la fertilité des sols en cultures paysannes.

**Abstract** — **Obstacles to the maintenance of soil fertility in farmers' fields.** Nowadays, the monetization of agriculture induced major changes to traditional systems which were characterized by long-term fallows. Difficulties in maintaining soil fertility and sustainability of cereal-based agro-systems have resulted. Unfavorable agro-meteorological conditions, charac-

terized by poor and generally erratic rainfall, intense sunlight and warm, dry winds, have a devastating effect on the production potential of arable lands. The low fertility level of these soils, their pronounced physico-chemical deterioration as soon as they are put under cultivation, their high permeability and their low resistance to erosion, all translate into low yields. High population pressure has led to the disappearance of fallow and saturation of zones suitable for cultivation. The exploitation of marginal lands and the use of cultural techniques favoring erosion have contributed to rapid soil deterioration. Traditional land use laws and poverty of rural populations render impossible the investments needed to preserve the capital of land. Deficitary mineral balances of current cropping systems, soil acidification and rapid decrease of organic matter content, compounded by low fertilizer applications (on cotton, groundnut and tobacco) and an extensive approach to cropping, result in a rapid decline of production potential and continuous soil deterioration. In summary, to maintain soil fertility in farmers' fields, a national strategy is needed to link soil fertility management to the development of both the input and agricultural product markets.

Autrefois, le mode de production agricole dominant était l'auto-consommation basée sur un système de défriche-brûlis avec des jachères de longue durée régénératrices de la fertilité des sols. De nos jours, l'autoconsommation régresse et la monétisation de l'agriculture est indéniable. Cela suppose des améliorations qualitatives et quantitatives de la production agricole avec un préalable d'investissements en matériel agricole (charrue, semoir, charrette, tracteur, etc.) et en intrants (engrais, insecticides, fongicides, etc.) généralement incompatibles avec les faibles revenus monétaires des exploitations agricoles.

## Conditions agro-écologiques contraignantes

Des conditions agro-météorologiques contraignantes, avec une pluviométrie irrégulière et insuffisante, un ensoleillement intense et des vents chauds et secs ont des effets dévastateurs sur l'équilibre écologique, les terres cultivables et leur potentiel de production.

D'une manière générale, les isohyètes des différentes zones agro-climatiques ont baissé d'environ 200 mm ces vingt-cinq dernières années, ce qui semble de nature à limiter le domaine des choix possibles pour le paysan.

Au Sahel, la grande sécheresse de 1968 à 1973 avec une pluviométrie de 15 à 40 % inférieure à la moyenne, a provoqué une perte de 600 000 tonnes sur la récolte des céréales (Leisinger et Schmitt, 1995).

La variabilité de la pluviosité annuelle, mesurée par l'écart-type, est de 15 à 20 % en zone humide et 30 à 50 % en zone semi-aride. Cette variabilité a d'énormes conséquences sur le cycle phénologique des cultures, certaines récoltes pouvant totalement échouer. Par exemple, en zone Mali-Sud (Berthé *et al.*, 1991) cette variabilité pluviométrique a permis de distinguer trois zones (tableau I) :

- la zone nord semi-aride (San, Tominian, Bla) avec une pluviométrie faible et très variable qui limite le choix des cultures aux céréales et qui, en cas de calamité, ne permet pas aux plantes de terminer leur cycle ;
- la zone centrale sub-humide (Koutiala, Sikasso, Dioïla) avec une pluviométrie de 900 à 1 100 mm

Tableau I. Caractéristiques climatiques.

Zone	semi-aride	sub-humide	humide
Pluviométrie			
moyenne (mm)	500-900	900-1 100	1 100-1 300
durée, en jours	50-60	60-100	90-120
mois très pluvieux (mm)	août (220)	août (300)	août (400)
Température (°C)			
moyenne annuelle	27-28	26-27	28
maximum	35 (mai)	31 (avril-mai)	33 (avril)
minimum	22 (janvier)	22 (janvier)	25 (décembre)
Evapo-transpiration potentielle			
moyenne (mm/an)	2 300-2 800	1 900-2 500	2 300
maximum (mm/mois)	280	270	280
minimum (mm/mois)	160	130	135

par an, se caractérisant par des variations considérables en début et fin de saison pluvieuse et où un arrêt précoce des pluies ou des pluies tardives destructrices ne sont pas rare ;

– la zone humide (Kadiolo, Bougouni, Yanfolila, Kolondiebà) où la pluviométrie est de 1 100 à 1 300 mm par an ; la saison pluvieuse est plus longue et s'étend de mai à septembre avec souvent quelques pluies tardives en octobre.

La production agricole est fortement tributaire de la pluviométrie. C'est pourquoi une assistance météorologique opérationnelle au monde rural a été lancée au Mali. L'objectif est d'aider les paysans à conduire rationnellement leurs activités pendant l'hivernage en tenant compte des informations agro-météorologiques disponibles, dans le but d'augmenter la production.

## Forte pression démographique

Dans la région du Mali-Sud, la population augmente d'environ 2 % chaque année (tableau II), dont 0,3 % d'immigration. Ce taux de croissance élevé résulte non seulement de la natalité forte, mais aussi de la diminution du taux de mortalité et, par conséquent, de l'augmentation de l'espérance de vie acquises grâce à l'amélioration des conditions sanitaires. Se traduisant par une augmentation progressive de la densité de la population, on a assisté à une disparition de la jachère, une baisse des rendements des cultures et la mise en culture de zones marginales, très souvent utilisées comme zones de pâturage (Bishop et Allen, 1989). Ces zones marginales avec une très rapide dégradation favorisent l'érosion hydrique et éolienne.

## Techniques culturales érosives

Les techniques culturales paysannes ne permettent pas de maintenir le potentiel productif des terres. Un des problèmes-clés liés au maintien du potentiel productif des terres se situe dans les techniques de lutte anti-érosive. En effet, la dégradation causée par l'érosion touchait 4 % des sols du Mali en 1952. Elle en touchait 26 % en 1975. Aujourd'hui, elle entraîne 10 à 60 % de la perte des nutriments des sols (Kieft *et al.*, 1994). Les pertes causées par la dégradation des sols au Mali avaient été estimées en 1988 à 1,38 milliards de F Cfa, soit environ 0,6 % du produit brut agricole. Avec la gestion actuelle des ressources naturelles, ces pertes atteindront 9,3 milliards de F Cfa en l'an 2005 (Bishop et Allen, 1989 ; Kieft *et al.*, 1994).



**Tableau II.** Démographie du Mali-Sud.

Cercles	Population 1987	Densité hab/km <sup>2</sup>	Population urbaine	Taille concessions/ personne	Population 1976	% accroissement
Sikasso	374 611	24,3	73 000	15,9	317 126	1,61
Bougouni	220 443	11,5	22 200	11,3	200 109	0,94
Kadiolo	98 337	18,2		13,5	90 738	0,78
Kolondiéba	103 352	11,2		13,4	112 729	0,84
Koutiala	286 244	21,3	48 000	10,1	200 019	3,47
Yanfolila	121 378	13,7		13,9	96 925	2,18
Yorosso	104 463	20,0		7,6	80 422	2,53
Ségou	293 242	29,3	90 000	9,9	236 351	1,73
Bla	150 382	24,2		8,7	115 998	2,51
Baroueli	127 684	27,1		11,7	109 884	1,45
San	202 096	32,8	30 000	6,6	169 597	1,70
Tominian	127 764	19,4	10 825	6,0	113 823	1,12
Dioila	253 706	21,1		7,9	184 093	3,10
Mali-sud	2 463 702	20,0		9,8	2 027 514	1,97

Sources : Berthé *et al.*, 1991, Dnsi, 1987 (résultats provisoires).

Les difficultés relatives aux aspects suivants seraient les plus importantes :

- le coût et la mise en place d'aménagements anti-érosifs ;
- autre alternative de préparation des sols avant semis ne favorisant pas le ruissellement et l'érosion ;
- l'exportation et le brûlis des résidus de récoltes.

Cependant, un schéma directeur d'aménagement est en cours de vulgarisation dans la zone Cmdt. Ce schéma a été élaboré à l'échelle du terroir pour orienter l'introduction de mesures anti-érosives et de conservation des ressources agro-sylvo-pastorales.

(Kieft *et al.*, 1994), le paysan pratique plutôt une fertilisation d'entretien qu'une restauration de la fertilité des sols.

Dès lors, les bilans minéraux des systèmes de culture engendrent (tableau IV) :

- des déficits importants en N et P en zone Office du Niger (Kieft *et al.*, 1994) ;
- des déficits N de 13 à 29 kg/ha et de K de 20 à 64 kg/ha en zone Cmdt ;
- concernant la céréaliculture, les estimations de bilans nutritifs sont encore plus désastreux (Gigou, 1986).

## Fertilisation et bilans minéraux de systèmes de cultures paysannes

Le souci du paysan de maintenir ou améliorer sa production agricole relève de deux critères fondamentaux :

- nourrir une famille de plus en plus nombreuse ;
- vendre des surplus pour satisfaire ses besoins monétaires.

La fertilisation des cultures est basée essentiellement sur la fertilisation organique et une très faible fertilisation minérale. L'insuffisance de la production de la fumure organique est notoire et les divers types de fumier (fumier, ordure de case et compost) offrent une forte variabilité de composition chimique et une assez faible teneur en éléments fertilisants. Les engrais chimiques sont surtout utilisés en zone cotonnière et à l'Office du Niger principalement sur cultures de rente (tableau III). De façon générale,

**Tableau III.** Utilisation d'engrais par culture.

Culture fertilisée	Superficie (ha)	% superficie
Sorgho-mil-maïs	1 500 000	< 5 %
Riz	247 000	50 %
Coton	188 000	95 %
Arachide	158 000	< 50 %
Canne à sucre	3 500	100 %
Tabac	240	50 %
Thé	100	100 %
Maraîchage	?	?
Total	2 100 000	< 19 %

Source : Kieft *et al.*, 1994.

**Tableau IV.** Bilan d'éléments nutritifs (kg/ha) au Mali-Sud (zone Cmdt).

	N	P	K	Ca	Mg	Chaux
Valeur probable	- 25	0	- 20	+ 3	- 5	- 12
valeur optimiste	- 14	+ 2	- 10	+ 12	0	- 9
valeur pessimiste	- 40	- 2	- 33	- 8	- 16	- 16

Source : Kieft *et al.*, 1994 ; Van der Pol, 1991.

Les sols sont continuellement vidés de leurs substances nutritives par des pratiques de surexploitation non équilibrées.

L'utilisation d'engrais minéraux, surtout azotés, cause une acidification des sols. Ce type de dégradation a une importance croissante dans les régions de Fana et de Koutiala en zone cotonnière (Kieft *et al.*, 1994). Cette acidification est liée à la lixiviation des bases et l'effet de l'urée ou du sulfate d'ammoniaque. Landon (1984) précisait qu'il fallait 1,75 kg de chaux pour la neutralisation de l'application de 1 kg de N.

Au contraire, dans les périmètres irrigués de l'Office du Niger, il faut signaler des problèmes de salinisation. Des études faites à Niono et dans le Kouroumari montrent qu'une partie notable de la nappe phréatique et des terres en culture sont plus ou moins dégradés par la salinisation née de l'évolution de la nappe phréatique dans un système de mauvais drainage (Kieft *et al.*, 1994).

Le maintien du taux de matière organique est incontournable dans le maintien de la productivité des sols tropicaux. En Sierra Leone, Brams (1971) a montré une évolution de 3,5 à 3,1 % deux mois seulement après la mise en valeur des sols. Au Nigeria, Adepetu et Corey (1977) ont enregistré une baisse de 3 % en une seule année de culture. Au Mali, sous culture sans fertilisation, le taux de matière organique a baissé de 0,65 à 0,35 % en 16 ans (Koné *et al.*, 1997). La réduction du taux de matière organique au-dessous du seuil minimum de 0,6 % rend les sols plus susceptibles à l'érosion (Piéri, 1989).

## Suggestions et conclusions

La faible fertilité et la fragilité de la plupart des sols du Mali (Poulain, 1976 ; Pieri, 1989 ; Wilding and Hossner, 1989 ; Traoré, 1974 ; Doumbia *et al.*, 1993), l'utilisation de doses négligeables d'engrais minéraux sur certaines céréales et le sous-dosage général des engrais minéraux et organiques (Piéri, 1989 ; Berckmoes *et al.*, 1990 ; Van der Pol, 1991 ; Kieft *et al.*, 1994), la rareté des jachères ou le raccourcissement de leur durée (Hoefsloot *et al.*, 1993), le défaut de restitution des résidus de récolte (Van der Pol, 1991), la mise en culture des terres marginales (Van der Pol et Giraudy, 1993), la faible utilisation des pratiques de conservation du sol (Kieft *et al.*, 1994), les coupes continues de bois de cuisine (Kieft *et al.*, 1994) et le surpâturage des terres (Van der Pol, 1991 ; Kieft *et al.*, 1994) sont les contraintes principales à la durabilité de production de la plupart des sols du Mali.

En conclusion générale, lier la gestion de la fertilité des sols au développement du marché des intrants et des produits agricoles dans le cadre d'une stratégie

nationale est indispensable pour assurer le maintien de la fertilité des sols en cultures paysannes.

## Références bibliographiques

- ADEPETU J.A., COREY R.B., 1977. Changes in N and P availability and from P fractions in 2 soils from Nigeria under intensive cultivation. *Plant and Soil* 46 : 309-316.
- BERCKMOES W.M.L., JAGER E.J., KONE Y., 1990. L'intensification agricole au Mali-Sud. Souhait ou réalité ? Royal Tropical Institute, Amsterdam, The Netherlands Bull. 318 : 40.
- BERTHE A.B., AAD B., BOUARE S., DIALLO B., DIARRA M.M., GEERLING C., MARIKO F., N'DJIM H., SANOGO B., 1991. Profil d'environnement Mali-Sud : état des ressources naturelles et potentialités de développement. Kit, Amsterdam, The Netherlands, 79 p.
- BISHOP J., ALLEN J., 1989. The on-site cost of soil erosion in Mali. The World Bank. Environmental Paper n° 21, 71 p.
- BRAMS E.A., 1971. Continuous cultivation of West Africa soils : organic matter diminution and effect of applied lime and phosphorus. *Plant and Soil* 35 : 410-414.
- DOUMBIA M.D., HOSSNER L.R., ONKEN A.B., 1993. Variable sorghum growth in acid soils of sub-humid West Africa. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 7 : 335-346.
- GIGOU J., 1986. La fertilisation raisonnée du sorgho en Afrique de l'Ouest. *L'Agronomie Tropicale* 41 : 192-202.
- HOEFSLOOT B., VAN DER POL F., ROELEVELD L., 1993. Jachères améliorées. Options pour le développement des systèmes de production rurale au Mali. Vol 2. 1er/Kit, Bamako - Amsterdam, The Netherlands, bulletin du Kit, n° 333.
- KIEFT H., KEITA N., VAN DER HEIDE A., 1994. Engrais fertiles ? Vers une fertilité durable des terres agricoles au Mali. Etc, Leusden, The Netherlands, 99 p.
- KONE M., GAKOU A., SANOGO Z., CRETENET M., 1997. Evolution et maintien de la fertilité des sols ferrugineux tropicaux lessivés sous divers modes de fertilisation. Cirad-ca, Montpellier, France, 20 p.
- LANDON J.R., 1984. Tropical soil manual. London, England. Booker Agricultural International, 474 p.
- LEISINGER K.M., SCHMITT K. (Eds), 1995. Survival in the Sahel. An ecological and developmental challenge development. Isnar, La Haye, Pays-Bas, 224 p.

- PIERI C., 1989. Fertilité des terres de Savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Paris, France, La Documentation Française, 444 p.
- POULAIN J.-F., 1976. Amélioration de la fertilité des sols agricoles du Mali. Bilan de treize années de travaux (1962-1974). *L'Agronomie Tropicale* 31 : 402-416.
- TRAORE M.F.G., 1974. Etude de la fumure minérale azotée intensive des céréales et du rôle spécifique de la matière organique dans la fertilité des sols au Mali. *L'Agronomie Tropicale* 29 (5) : 567-587.
- VAN DER POL F., 1991. L'épuisement des terres, une source de revenu pour les paysans au Mali-Sud. In Pieri C. (Ed.), *Savanes d'Afrique, terres fertiles ?* Montpellier, France, Cirad, p. 403-419.
- VAN DER POL F., GIRAUDY F., 1993. Etude des relations entre pratiques d'amélioration des sols et variables socio-économiques dans la zone Mali-Sud. *Icr/Kit/Cmdt*, Bamako, Mali.
- VAN DUIVENBOODEN N., 1990. Sustainability of West African cropping system in terms of nutrient elements. A study for the 5th region of Mali. Cabo, Wageningen, The Netherlands.
- WILDING L.P., HOSSNER L.R., 1989. Causes and effects of acidity in Sahelian soils. In *Icrisat*, 1989. Soil, crop, and water management systems for rainfed agriculture in the Sudano-Sahelian zone. In *Proceedings of international workshop*, 11-16, January 1987, p. 215-227. *Icrisat Sahelian Center*, Niamey, Niger. Patancheru, India.



# Les contraintes aux systèmes de cultures coton-céréales dues à l'acidité

J. GIGOU

Icrisat-Cirad, BP 320, Bamako

**Résumé** — Les sols acides se forment sous l'action du drainage qui entraîne les bases échangeables. La tendance à l'acidification des sols est accentuée par les cultures. Dans la région Mali-Sud, le climat n'est pas très pluvieux et les zones où l'ensemble des sols posent des problèmes d'acidité pour les cultures sont peu nombreuses. Cependant, dans certaines situations, l'acidité empêche la culture du cotonnier, la plante la plus sensible à l'acidité et la seule qui reçoit régulièrement des engrais. L'intensification de la culture n'est envisageable, dans ce cas et dans les conditions socio-économiques actuelles, que si l'apport de 5 à 10 t/ha de fumier au maximum permet de faire pousser correctement le cotonnier. Dans le cas contraire, les sols doivent être réservés aux cultures moins sensibles à l'acidité, ou bien être conduits en culture itinérante pour que les cendres de la jachère corrigent l'acidité de l'horizon de surface. Dans d'autres cas où l'acidité est moins forte, le cotonnier pousse correctement s'il est semé précocement, très médiocrement s'il est semé plus tardivement. Les rendements sont augmentés si les pailles de sorgho, en culture précédente, sont brûlées. Ailleurs, on observe une réponse favorable à l'apport d'un peu de calcium sous forme de sulfate. Ces cas où le coton pousse relativement bien sont certainement plus favorables que les sols très acides pour des actions visant à améliorer l'équilibre en calcium des sols.

**Abstract** — Constraints to cropping systems resulting from soil acidity in cotton-cereals rotations. Soil acidification results from leaching of exchangeable cations following heavy rains. The problem is exacerbated by cultivation. The rainfall in Mali-Sud (the southeastern part of Mali), is moderate, and areas where all soils are too acid for cultivation are restricted in size. Nevertheless, soil acidity problems do occur in specific sites to the point that cotton, the most acid-sensitive crop in the rotation, cannot be cultivated. As this crop is the only one that receives fertilizers, intensification of cotton production cannot be envisaged under current socio-economic conditions, unless farm manure applications, at dosages of 5-10 t/ha, are possible. Otherwise, these soils should be used either for less acid-sensitive crops, or for shifting cultivation, so that ashes from the burned fallow can reduce soil acidity in the upper soil horizon. In situations where soil acidity is less of a problem, cotton thrives when sown early, whereas its growth is adversely affected with late sowing. However, yields can be increased by

burning the residues from the previous sorghum crop. In other cases, a positive yield response has been observed following calcium sulfate application. The areas where cotton grows relatively well are certainly better suited for actions aiming at improving the calcium balance in the soil, than areas where acidity is too high.

Le Mali a un climat peu pluvieux, qui ne favorise pas, à priori, l'acidification des sols, si bien que l'on hésite parfois à y reconnaître les problèmes liés à l'acidité des sols. Pourtant, même s'ils ne prennent pas des aspects aussi spectaculaires que dans les grandes régions de sols acides, il existe des problèmes d'équilibre entre cations et certains sols sont trop acides pour le cotonnier, la plante la plus sensible des rotations habituelles.

## Les mécanismes de l'acidification

### Le drainage, moteur de l'acidification

L'eau qui draine après avoir traversé tout le sol entraîne des éléments solubles, en particulier Ca, Mg, Na et K. Il en résulte un appauvrissement en bases échangeables qui se traduit par une baisse du pH du sol. La tendance naturelle à l'acidification existe dans tous les sols qui subissent régulièrement du drainage. Elle est forte dans les zones humides, mais elle existe aussi dans de nombreuses zones à climat contrasté avec des pluies totales annuelles modestes, mais plusieurs mois de saison des pluies pendant lesquels le drainage est abondant. Le drainage est plus important dans les sols sableux ou gravillonnaires qui ont une capacité de rétention de l'eau faible.

Sous culture, le drainage est souvent accentué car la durée de la végétation et le recouvrement du sol par la plante cultivée sont inférieurs à ceux de la végétation naturelle.

## Les remontées biologiques, frein à l'acidification

Il existe un phénomène inverse qui limite les pertes : les remontées biologiques par les plantes. En effet, les teneurs en éléments minéraux dans l'eau qui draine sont réduites quand le système racinaire est bien développé, car les racines absorbent une grande partie des éléments en solution, notamment les nitrates, le calcium et le magnésium. Les éléments mobilisés par les plantes sont remontés vers les parties aériennes ou les racines, localisés principalement dans les horizons superficiels, et leur recyclage permet d'enrichir les horizons de surface. Il peut donc s'établir un équilibre sous végétation naturelle.

Sous culture, les remontées sont souvent réduites. L'importance des remontées dépend de la vitesse d'installation de la végétation au début de la saison des pluies et de la profondeur d'enracinement, donc de la date de semis, des espèces et des variétés cultivées, de la fertilité du sol et de la fumure. Les systèmes de culture qui conservent une végétation active en permanence favorisent les remontées : culture-relais de plantes annuelles, plantes pérennes, plantes de couverture, etc. Les arbres conservés dans les champs, karités, *Faidherbia albida*, etc., peuvent remonter les éléments jusqu'à une grande profondeur.

Les remontées sont fortes sous la jachère, si bien qu'il s'établit un équilibre dans le système de culture itinérante, même dans les régions très humides (Nye et Greenland, 1960). Quand la culture alterne avec la jachère, les remontées biologiques dominent sous jachère et les bases accumulées en surface dans la végétation sont libérées par le feu, ce qui permet d'augmenter le pH des horizons supérieurs du sol.

## Les cations échangeables

Ca, Mg et K sont les principales bases échangeables dans les sols acides. Na n'est qu'en quantité négligeable car il est peu retenu par le complexe absorbant, si bien que l'eau qui draine l'entraîne rapidement hors du profil. Ca est généralement le plus abondant, suivi de Mg. Ce sont donc ces deux cations qui sont aussi les plus abondants dans la solution du sol et dans l'eau de drainage. Le potassium est moins abondant. Il est bien retenu par la kaolinite, moins bien par la matière organique.

Quand le sol est acide, les bases échangeables n'occupent qu'une partie du complexe absorbant. Le complément n'est pas occupé par des ions  $H^+$ , mais par  $Al^{+++}$  ou  $Mn^{++}$ . En effet, l'argile n'est plus stable quand elle contient beaucoup de  $H^+$ , si bien qu'un peu de Al des réseaux cristallins passe en position échangeable. Les ions aluminium peuvent prendre de nombreuses formes,  $Al(OH)^{++}$ ,  $Al(OH)_2^+$ , polymérisé, etc. et il s'établit des équilibres complexes entre toutes ces formes. Quand le pH est suffisamment acide ( $< 5,0$ ), les ions aluminium deviennent un peu plus solubles et peuvent empêcher la croissance des plantes, car les formes monomériques de Al en solution sont très toxiques (Edwards et Bell, 1989).

## L'entraînement par les anions accompagnateurs

Les principaux anions, dans la solution du sol et dans l'eau qui draine, sont habituellement les carbonates ( $CO_3^{--}$ ) et les bicarbonates ( $HCO_3^-$ ) qui résultent de la dissolution de  $CO_2$  ; les nitrates et les sulfates qui proviennent de la minéralisation de la matière organique ou des engrais ; éventuellement des chlorures provenant des engrais.

La présence d'anions dans la solution augmente la quantité de cations échangeables qui passent en solution. Il est bien clair que la solution du sol et l'eau de drainage ne sont jamais des acides dilués, car il se dissout approximativement autant de cations qu'il y a d'anions. Aussi, les teneurs en Ca et Mg dans l'eau qui draine sont fortement corrélées aux teneurs en nitrate et en sulfate (Piéri, 1987 ; 1989).

Les anions solubles apparaissent ainsi comme des facteurs d'entraînement des bases échangeables. Par contre, les ions phosphate, insolubles et bien retenus par le sol, n'ont pas cet effet. De même, dans de nombreux sols acides, les ions sulfates sont retenus dans les horizons de profondeur (Ahn, 1993) et alors ils cessent de jouer ce rôle d'entraînement. Les nitrates ne sont que faiblement retenus, sauf peut-être dans certains « oxisols », suivant la classification américaine (Melgar et al., 1992). Les chlorures, apportés surtout par les engrais potassiques, sont, eux aussi, solubles et lixiviés par l'eau qui draine. Ils entraînent principalement Ca et Mg, les deux cations les plus abondants, alors que le potassium est relativement bien retenu par le sol.

## La mesure de l'acidité des sols

Le pH du sol est une mesure conventionnelle du pH de l'eau ou d'une solution saline en équilibre avec du sol mis en suspension dans un rapport sol / liquide déterminé.



Le pH - eau, est obtenu avec une suspension dans l'eau distillée. Il mesure l'acidité actuelle du sol, mais il a l'inconvénient d'être souvent variable d'une mesure à l'autre. C'est pourquoi certains préfèrent utiliser des solutions salines, par exemple le  $\text{CaCl}_2$  N/100, qui donnent des mesures plus stables. Laudelout (1992) fait remarquer que la signification écologique du pH - eau est assez claire mais sa mesure peu précise, alors qu'au contraire, avec les solutions salines diluées, on obtient une mesure plus précise dont la signification écologique est plus floue.

Le pH - KCl, obtenu dans une solution normale de KCl, donne une valeur du pH beaucoup plus acide, car il déplace tous les ions échangeables, en particulier  $\text{H}^+$  et  $\text{Al}^{+++}$ . Il mesure ainsi l'acidité potentielle du sol (Duchaufour, 1970).

L'acidité est déterminée avec plus de précision par la saturation en Al échangeable, c'est-à-dire la part de la Cec qui est occupée par Al échangeable. En général, on admet qu'il y a peu de problèmes tant qu'Al échangeable occupe moins de 30 % de la Cec et qu'au contraire, seules les cultures les plus tolérantes poussent quand la saturation en Al dépasse 60 % (Ahn, 1993 ; Von Uexkull et Bosshart, 1989b).

## Effets des techniques de culture

Sous culture, l'acidification, due à la perte des bases échangeables, se produit par trois mécanismes : la lixiviation par l'eau qui draine accentuée par rapport au milieu naturel, les prélèvements de bases échangeables par les récoltes et l'action des engrais minéraux. L'apport de fumier ou d'amendements calciques permet d'éviter l'acidification.

### La lixiviation par l'eau de drainage

Elle dépend, d'une part, de l'importance du drainage et, d'autre part, des teneurs en bases dans l'eau du drainage. Ces deux facteurs sont généralement augmentés sous culture.

Le drainage est augmenté quand la période de croissance active de la culture est plus courte que celle de la végétation naturelle, ou quand la couverture du sol par la culture est réduite. Les techniques qui permettent la meilleure utilisation de l'eau pluviale favorisent une meilleure croissance et une production plus élevée, mais elle tendent aussi à limiter le drainage et les pertes par lixiviation. On peut citer les semis précoces, l'utilisation de variétés de cycle long bien adaptées au climat local, par exemple des variétés photosensibles, ou bien des cultures-relais dans les variétés de cycle court (maïs-mil, mil-niébé, etc.), les arbres du parc à karité ou à *F. albida* qui utilisent en saison sèche l'eau stockée dans le sol à des profon-

deurs non accessibles aux racines des cultures annuelles (Monnier, 1990).

L'installation rapide d'un système racinaire profond et puissant, ainsi que la présence d'arbres, sont favorables car ils remontent ces éléments en surface et limitent donc les quantités d'éléments minéraux qui drainent. Par exemple, la lixiviation des nitrates est généralement plus faible sous céréales que sous arachide ou coton (Piéri, 1989).

Finalement, toutes les techniques culturales qui permettent une bonne croissance des plantes et une bonne couverture du sol pendant toute la saison des pluies sont favorables. Les terres bien cultivées, où la croissance des plantes est bonne, présentent donc des risques moindres d'acidification que des terres équivalentes mal cultivées. Une mention spéciale doit être faite pour la technique traditionnelle du parc arboré, à *F. albida* ou à karité, qui participe efficacement au maintien de la fertilité.

### Prélèvements par les récoltes

Les prélèvements sont variables suivant les cultures, les rendements obtenus et la richesse du sol (si le sol est riche, les teneurs des plantes en éléments minéraux sont plus fortes). En général les récoltes exportent de 30 à 100 kg de  $\text{CaO/ha/an}$  et de 20 à 60 kg de  $\text{MgO/ha/an}$ . Une grande partie de ces éléments est contenue dans les tiges et les résidus de récolte et peut être restituée au sol (Monnier, 1990) soit :

- brûlés, à condition que les cendres ne soient pas entraînées par le vent ;
- en paillage sur le sol ;
- par l'enfouissement des pailles ;
- après utilisation par les animaux, par l'apport du fumier.

Dans la région Mali-Sud, le droit de vaine pâture en saison sèche est général. Aussi les pailles sont largement recyclées par le pâturage par les animaux ainsi que par la consommation par les termites des tiges tombées à terre. Sur les céréales, il reste souvent quelques-unes des grosses tiges non dégradées au moment des labours, qui sont rassemblées en tas et brûlées. Sur les cotonniers, il reste les tiges lignifiées qui sont coupées ou arrachées puis brûlées en tas. Dans tous ces cas, une grande partie des bases est recyclée.

Dans d'autres cas, les pailles de céréales ou surtout les tiges des cotonniers sont brûlées en gros tas et les cendres sont utilisées pour préparer la « potasse », un produit traditionnel riche en hydroxyde de potassium, qui sert pour certaines préparations culinaires et pour la fabrication artisanale du savon. On valorise ainsi les minéraux contenus dans les tiges, mais on les exporte du champ et même souvent du terroir.

Enfin certains paysans ramassent des tiges pour l'alimentation des animaux à l'étable en saison sèche et



pour la litière (Landais *et al.*, 1991). Les éléments minéraux sont exportés de la parcelle, mais ils seront recyclés par le fumier, éventuellement sur un autre champ que le paysan souhaite enrichir.

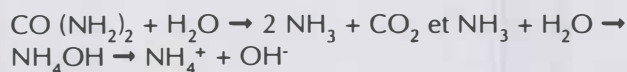
### Action des engrais minéraux sur le pH du sol

Les engrais ont une action forte sur la croissance des plantes, ce qui tend à augmenter l'utilisation de l'eau pluviale, diminuer le drainage, modifier parfois l'enracinement et augmenter tous les prélèvements minéraux par la culture.

Mais ils ont en plus une action propre sur le sol : ils peuvent être acidifiants, neutres ou alcalinisants. Cet effet n'est pas dû au pH de la solution de l'engrais dans l'eau, mais à la réaction globale de l'engrais avec le sol. Par exemple, le superphosphate se dissout dans l'eau en donnant une solution très acide, mais il n'a aucun effet acidifiant sur le sol, car les réactions de fixation des ions phosphate sur le sol neutralisent cette acidité. Au contraire, l'ammoniac anhydre,  $\text{NH}_3$ , forme une solution basique dans l'eau, mais dans le sol, la nitrification de  $\text{NH}_3$  en  $\text{NO}_3^-$  se produit en quelques semaines et l'effet est alors fortement acidifiant (Tisdale *et al.*, 1985).

Les formes d'engrais les plus courantes sont acidifiantes, sauf le phosphate naturel qui, grâce à son apport important de  $\text{Ca}^{++}$ , est neutralisant (Gros, 1979). Les engrais actuellement vulgarisés sont donc eux aussi acidifiants.

C'est surtout l'azote ammoniacal qui, par sa nitrification, explique le pouvoir acidifiant des engrais. Le pH du sol varie dans les semaines ou dans les mois qui suivent l'apport d'engrais et l'on peut passer par des phases d'augmentation puis de diminution du pH. Par exemple, l'urée (Recous, 1987 ; Tisdale *et al.*, 1985), l'engrais azoté le plus utilisé dans la région, subit d'abord une hydrolyse qui libère, en quelques jours, l'ammoniaque, suivant une réaction qui peut se résumer à :



Cette réaction augmente le pH, ce qui peut être très favorable en sol acide : amélioration de la nitrification, diminution de la fixation du phosphore du sol ou du phosphore de l'engrais apporté en mélange avec l'urée. Elle peut aussi entraîner des pertes par volatilisation de  $\text{NH}_3$  quand le sol est très sableux (pouvoir tampon faible) et la pluie faible, car l'augmentation du pH en surface, de 1 à 2 unités, est suffisante pour que le pH devienne basique autour des grains d'urée, même en sol acide (Soubies *et al.*, 1955 ; Bouwmeester *et al.*, 1985). On conseille de bien enfouir l'urée pour éviter ce risque.

La nitrification correspond à la réaction :

$\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$ . Elle est acidifiante, puisqu'elle fait apparaître  $2\text{H}^+$ , ce qui fait cesser l'augmentation temporaire du pH due à  $\text{NH}_3$  et acidifie le sol par rapport à la situation de départ. Parmi les nitrates formés, une partie est absorbée par les plantes et transformée en azote organique, une partie peut être dénitrifiée et une autre partie draine en entraînant des ions  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$ . Seule, cette dernière partie entraîne une acidification permanente du sol.

Ainsi l'urée augmente le pH pendant son hydrolyse, puis le diminue pendant sa nitrification suivant des réactions qui peuvent être schématisées en :

$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \rightarrow 2\text{NH}_4^+ + 2\text{OH}^- \rightarrow 2\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+$  et une partie de cette acidification devient permanente par le drainage de  $\text{NO}_3^-$ .

Le sulfate d'ammoniaque est plus acidifiant que l'urée. Il n'y a pas d'effet neutralisant initial et l'on peut schématiser les réactions globales en :

urée :  $\text{NH}_3 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$

sulfate d'ammoniaque :  $\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$

Une partie importante de l'acidité due au sulfate d'ammoniaque peut devenir permanente par suite du drainage des nitrates et des sulfates. Par contre, les sulfates absorbés par la culture n'entraînent pas d'acidification permanente.

Les apports d'engrais azoté en excès par rapport aux besoins des cultures ont un effet défavorable. En effet, le sol stocke l'azote dans la matière organique, dont le C/N est peu variable et qui ne peut donc retenir que très peu d'azote supplémentaire. L'excédent, qu'il provienne directement de l'engrais, ou bien du sol après mélange avec l'azote apporté, est perdu. Dans les sols acides, ce peut être par dénitrification, ce qui est un moindre mal, ou le plus souvent par drainage, ce qui entraîne des pertes de bases.

### Effet du fumier

Le fumier a un effet très favorable en sol acide : il augmente le pH et surtout il fixe rapidement l'aluminium.

Le fumier recycle les bases contenues dans les pailles consommées par les animaux ou piétinées dans le parc. Il transfère aussi vers les champs cultivés des éléments provenant du pâturage par les animaux dans les parcours. Souvent, les paysans ajoutent au fumier les cendres, ce qui permet de recycler sur les champs les bases provenant des bois de feu. Dans la région Mali-Sud, une partie des « fumiers » est en fait formée principalement des ordures ménagères, très riches en cendres. Ce sont alors de véritables amendements basiques.

Mais la matière organique, fumier ou matière organique fraîche, a aussi un autre effet très important en sol acide : la complexation très rapide de l'aluminium libre de la solution du sol (Bell et Bessho, 1993 ; Kretzschmar *et al.*, 1991 ; Berek *et al.*, 1995).

Dans les zones de savane, l'apport régulier de fumier permet d'éviter l'acidification et la culture devient durable (Piéri, 1989). C'est ainsi que, dans la région Mali-Sud, les paysans investissent du temps pour la fabrication et l'utilisation du fumier, afin de maintenir la fertilité de leurs terres. Budelman et van der Pol (1992) font remarquer qu'en Europe, au moment de la transition vers la culture continue, les paysans utilisaient des techniques comparables et que, dans les Flandres vers 1700, ils ont réinvesti ainsi jusqu'à 50 % de leur produit brut.



## Les sols acides et leur culture

### Les sols acides

Il existe des sols acides aussi bien dans les régions tempérées que dans les régions tropicales. Cependant, les régions tropicales humides sont connues pour leurs grandes zones de sols acides, qui couvrent la majeure partie de ces régions (Sanchez et Logan, 1992). En effet, d'une part, le climat chaud et humide permet une altération complète des minéraux primaires jusqu'à une grande profondeur et la lixiviation des bases libérées et, d'autre part, ces régions n'ont pas été touchées par les glaciations qui ont rajeuni tous les sols des pays tempérés (Eswaran *et al.*, 1992). La culture de ces sols acides est étudiée car ils constituent des réserves de terre non ou peu cultivée dans des régions en forte expansion démographique.

Typiquement, ces sols tropicaux acides sont situés dans des régions très humides. Ils sont très profonds, souvent argileux dès la surface en Amérique, alors qu'en Afrique ils ont souvent un horizon plus sableux en surface (Ahn, 1993). Ils peuvent facilement être utilisés pour les plantes pérennes (palmier, hévéa, ananas, etc.), alors qu'au contraire, avec les cultures annuelles, il est difficile de maintenir la fertilité.

Sous savane, l'horizon de surface est moins acide, grâce aux cendres qu'il reçoit régulièrement (Nye et Greenland, 1960). En profondeur, le sol peut être hérité de périodes où le climat était plus humide qu'actuellement. Aussi, on peut trouver des sols profonds et acides même dans des régions comme le Mali-Sud où la pluviométrie actuelle n'est pas très forte. C'est ainsi que, dans un puits creusé en 1995, à Nogolasso, près d'un de nos sites d'essais, la base du profil de sol, nettement marquée par un horizon marmorisé, se trouvait à 6 m de profondeur.

Sous cultures, les sols de savane ont tendance à s'acidifier et les rendements baissent fortement. On peut corriger ce problème par des apports d'amendement calcique ou de fumier (Pichot *et al.*, 1981 ; Piéri, 1989).

### Inconvénients des sols acides

Les sols acides ont de nombreux inconvénients.

#### Toxicité aluminique

Les plantes sont très sensibles à Al en solution : elles poussent mal et leurs racines sont atrophiées. Les ions  $H^+$  ne sont pas toxiques par eux-mêmes, si bien que des plantes peuvent pousser sur certains sols très acides mais qui ne contiennent que peu d'ions aluminium en solution. Parfois d'autres ions comme  $Mn^{++}$  deviennent trop solubles et toxiques en sol acide. Il existe de grandes différences de tolérance suivant les espèces et les variétés (Sanchez et Salinas, 1981).

#### Des sols pauvres en bases

Les sols acides ont, par nature, des teneurs faibles en bases, K, Ca et Mg et ces bases sont diluées dans beaucoup de Al échangeable. Aussi les carences en K et Mg sont fréquentes. La carence en calcium est rare, car beaucoup de plantes sont plus sensibles à la toxicité aluminique qu'à la carence en calcium. Cependant, certaines plantes tolérantes à la toxicité aluminique peuvent répondre favorablement à une amélioration de leur alimentation en Ca, par exemple la canne à sucre (Edwards et Bell, 1989) ou le manioc (Schmidt *et al.*, 1990).

#### Des charges variables et faible Cec

Les sols acides ont souvent des charges variables avec le pH, portées par la matière organique et par la kaolinite. Aussi quand le sol devient plus acide, la Cec devient plus faible. Cela peut rendre difficile la fertilisation en K et Mg, quand ces cations sont mal retenus. Cela rend aussi plus difficile la correction de l'acidité par chaulage, car le besoin en Ca augmente dès que le pH augmente (Von Uexkull et Bosshart, 1989a).

#### Modifications biologiques et nitrification

Quand le sol est très acide, la faune et la microflore du sol sont modifiées et l'activité biologique est généralement réduite. En particulier, la nitrification peut être réduite car *Nitrobacter* est inhibé à pH acide. Cependant, même en sol très acide, on observe généralement de la nitrification, soit parce qu'il existe des souches bactériennes nitrifiantes adaptées au sol (Buresh, 1987), soit parce qu'il existe des microsites à pH plus élevé (Dommergues, 1970).



## Fixation du phosphore

A pH acide, il existe de nombreuses charges positives dans le sol, localisées sur les cassures des silicates et sur les oxydes de fer et d'aluminium, sur lesquelles le phosphate est fixé solidement (Uribe, 1989). Ce phosphore difficilement assimilable peut être mobilisé lentement par les plantes et accumulé par la jachère dans la biomasse et dans l'horizon supérieur du sol (Nye et Greenland, 1960). Les plantes à croissance lente et à cycle long peuvent mobiliser des quantités importantes de phosphore, tout en ayant des besoins instantanés modestes, satisfaits par des sols pauvres en P assimilable. Certaines plantes ont une grande capacité à prélever le phosphore du sol et sont donc peu sensibles à la carence, par exemple le manioc, grâce à son association avec des mycorhizes (Steiner, 1982). Cependant quand le sol est sableux en surface, comme c'est le cas le plus souvent en zone de savane d'Afrique de l'Ouest, la capacité de fixation du phosphore reste modeste, si bien que des doses modérées de phosphore sont suffisantes pour corriger les carences (Poulain, 1976 ; Piéri, 1989).

Finalement dans les sols acides, certaines cultures adaptées sont possibles (niébé, mil, manioc, etc.), alors que d'autres plus sensibles sont presque impossibles (soja, cotonnier, etc.).

## Cultiver les sols acides

Quand le sol est trop acide, certaines cultures ne poussent que de façon très irrégulière. En effet, le pH varie fortement au cours de l'année et certainement aussi d'une année à l'autre, en fonction des pluies, de la minéralisation de la matière organique, etc. Quand le pH est juste à la limite de ce que les plantes peuvent supporter, elles poussent correctement ou ne poussent pas du tout suivant les cas (année, date de semis, etc.). Les apports d'engrais peuvent avoir des effets négatifs, car les cations apportés déplacent de l'aluminium échangeable des argiles vers la solution du sol, comme KCl le fait dans la mesure du pH - KCl (Edward et Bell, 1989).

Il est certainement préférable d'éviter que le pH ne baisse au-delà de la limite pour laquelle la plante la plus sensible de la rotation est affectée. En effet, le redressement du pH d'un sol très acidifié n'est pas toujours facile :

- les apports d'amendements massifs et coûteux posent des problèmes de rentabilité et de financement difficilement solubles dans les conditions socio-économiques des petits paysans d'Afrique de l'Ouest ;
- le premier effet d'un apport d'amendement calcaïque n'est généralement pas favorable ; une interprétation simple de ce phénomène peut être donnée : le déplacement par  $\text{Ca}^{++}$  de  $\text{Al}^{+++}$ , qui passe en solution ;

Al est ensuite éliminé par précipitation si le pH de la solution du sol a été suffisamment relevé par l'amendement ; pour de faibles doses, l'élimination de Al peut être incomplète et le pH final plus acide (Fallavier et Babre, 1990). Pour les doses plus fortes, l'augmentation de Al en solution n'est que transitoire, mais peut gêner la première culture ;

- pour les sols à charges variables, l'apport d'amendement est inefficace s'il sert à augmenter la Cec et non à corriger l'acidité (Von Uexkull et Bosshart, 1989a) ;
- les apports massifs d'amendements peuvent avoir des inconvénients : carences induites en oligo-éléments, déséquilibre entre cations K-Ca-Mg, etc.

Par contre, le fumier a un effet très favorable en sol acide : il augmente le pH, améliore la Cec et surtout il fixe rapidement l'aluminium en solution.

En culture peu intensive, il est souvent plus indiqué de choisir des espèces et des variétés qui tolèrent l'acidité (Sanchez et Benites, 1988), plutôt que de vouloir à grands frais la corriger. En effet, beaucoup des cultures des régions tropicales sont bien adaptées à l'acidité (niébé, manioc, mil, riz, etc.). La sélection des variétés pour leur tolérance à l'acidité est possible.

Si l'on doit corriger l'acidité, on se limite au minimum permettant la culture de la plante la plus sensible de la rotation. En général un pH compris entre 5 et 5,5 est suffisant. Par exemple, Sément (1983) trouve que le cotonnier pousse correctement à Bouaké quand le pH est supérieur à 5,2. Dans les conditions actuelles du Mali, cette correction est faite par le fumier, les cendres et la jachère.

## Exemples de problèmes d'acidité dans la région Mali-Sud

### Sensibilité à l'acidité des sols du système de culture

La région Mali-Sud est une grande région de production du coton. Toutes les rotations principales sont à base de cotonnier et de céréales. Ce sont les revenus du coton qui financent les engrais et le matériel de culture attelée et permettent une certaine intensification de l'agriculture. Le cotonnier est souvent la seule culture fertilisée dans la rotation. Aussi, quand la culture du cotonnier n'est pas possible, le sol ne reçoit pas d'engrais et il s'appauvrit rapidement. On est alors obligé de le remettre en jachère, une pratique devenue peu fréquente sur les sols favorables au cotonnier.



Ainsi, quand la culture du cotonnier n'est plus possible, ou même dès que ses rendements diminuent, le système coton - céréales subit de fortes contraintes qui peuvent aboutir à sa disparition. Le plus souvent, le paysan abandonne les champs qui présentent des problèmes et va défricher d'autres parcelles. Mais quand la pression foncière est trop forte et ne permet pas de nouveaux défrichements, il doit abandonner ses cultures pour aller s'installer dans une autre région ou éventuellement partir vers la ville.

Le climat de la région, favorable aux cultures annuelles, comporte une saison des pluies et une longue saison sèche. Avec environ 1 000 mm de pluviométrie annuelle, il n'est pas très pluvieux au total. Ces conditions ne favorisent pas l'acidification et la région ne comporte effectivement pas de grandes zones où tous les sols posent des problèmes d'acidité pour les cultures. Cependant, il existe des situations où l'acidité empêche la culture du cotonnier, avec les contraintes que cela induit pour le système de culture. Il existe aussi d'autres cas où le cotonnier pousse raisonnablement bien mais montre cependant des signes liés à l'acidité du sol ou aux déséquilibres entre cations. Il est par exemple fréquent que les semis très précoces poussent bien, alors que des semis légèrement plus tardifs ont une croissance médiocre. Cela pose évidemment des problèmes de calendrier culturel. Il existe enfin des cas où l'apport d'un peu de calcium ou le brûlis des tiges de l'année précédente permettent une augmentation des rendements.

Nous allons illustrer ces situations par trois exemples observés dans les expérimentations que nous avons conduites en milieu paysan et sur la station de Samanko depuis 1993.

### Konobougou ou les limites du coton

Pour la réalisation de tests d'amélioration de la fertilité sur des terres épuisées par la culture, un exemple nous a été proposé aux environs immédiats de Konobougou, un gros village situé le long de la route goudronnée entre Fana et Ségou. Avec environ 800 mm de pluviométrie annuelle, cette région est à la limite nord de la zone cotonnière. Il existe une auréole à pression foncière assez forte autour du village et il n'y a plus de bonnes terres disponibles à moins de 15 km.

Le champ retenu, appartenant à M. Broulaye Diarra, est cultivé depuis environ 80 ans. Il est probable que la culture a d'abord alterné avec des jachères de longue durée. Cependant, depuis dix à vingt ans, les jachères sont peu nombreuses et de courte durée. Les teneurs en matière organique sont très faibles. Sur ce champ, les cotonniers ne poussent que très médiocrement, ne répondent pas bien à l'engrais minéral (tableau I) et donnent des rendements d'environ

**Tableau I.** Production avec engrais Npk sur des sites acides des villages de Konobougou et Siguidolo (unité = kg/ha).

Village site	Konobougou		Siguidolo	
	Broulaye	Flae9N	Flae8N	Flae9A
Coton	300 à 500	100 à 200	< 100	< 100
Sorgho	environ 1000	(< 100)	(< 100)	(< 100)
Mil	1 000 à 2 500	700	400	400

(...) = arrière-effet de l'engrais.

500 kg/ha. Par contre, le sorgho ou le mil poussent bien et répondent normalement aux engrais.

Le fumier permet d'améliorer considérablement la croissance des cotonniers. Les villageois estiment que le fumier est efficace sur cotonnier, mais pas sur sorgho et mil. Cette affirmation, à priori étonnante, s'explique par le fait que le « fumier » habituellement utilisé est en réalité des ordures ménagères riches en cendres. C'est donc plutôt un amendement basique qui améliore beaucoup la croissance du cotonnier, sensible à l'acidité, et peu celles du mil et du sorgho, moins sensibles.

Les mesures de pH permettent de confirmer que l'acidité limite la croissance des cotonniers. Nous avons fait, sur toutes les parcelles d'un essai, des mesures régulières de pH - eau et pH - KCl de l'horizon 0-20 cm, à partir des semis en juin 1994 et jusqu'à la fin 1995, à raison de deux fois par mois en juin, juillet et août, puis une fois par mois jusqu'à la fin décembre et une ou deux fois pendant la saison sèche. En 1994, on observe une relation nette entre la croissance des cotonniers et le pH - KCl moyen pendant la période de croissance des cotonniers (figure 1). Les relations sont beaucoup moins nettes avec pH - eau (non représenté). Dans le détail, le total tiges + coton-graine est mieux corrélé avec le pH - KCl au moment du semis, alors que la production de coton-graine est mieux corrélée avec les pH mesurés en septembre et octobre. Deux traitements se distinguent nettement par une production inférieure à celle attendue d'après leur pH : le traitement T00 sans engrais et un traitement qui a reçu une t/ha de calcaire broyé peu avant le semis. Sur ce dernier, le pH augmente rapidement en fin de saison des pluies (figure 2), mais trop tard pour que le cotonnier en profite pleinement.

On observe une variation du pH au cours de l'année (figure 2), avec une baisse du pH en début de saison régulièrement pluvieuse et au contraire des pH plus élevés en saison sèche. Au début de la saison des pluies 1995, on observe des valeurs plus élevées après une période sèche succédant à quelques pluies précoces. La variation du pH dépend des engrais apportés. Ainsi par rapport à T00, le témoin sans

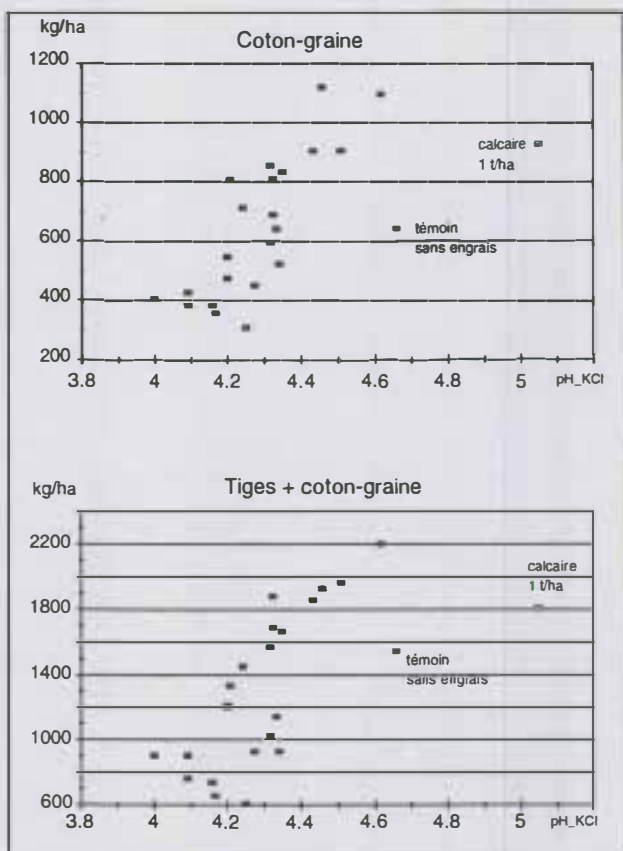


Figure 1. Relation entre le pH-KCl de l'horizon 0-20 cm du sol et la production des cotonniers sur l'essai d'apport de calcium, à Konobougou, en 1994. Le pH-KCl porté en abscisse est la moyenne des six mesures réalisées entre le 23/6 et le 3/10/94.

engrais, le pH diminue nettement avec la fumure Npks alors que la diminution est moins nette avec Np. Les rendements (tableau II) sont aussi plus élevés avec Np, bien que la différence soit insuffisante pour apparaître statistiquement significative. L'apport de 1 t/ha de calcaire broyé empêche la diminution du pH en début de saison des pluies, mais c'est seulement à partir de fin août que l'augmentation du pH par rapport au témoin devient nette. Dès l'année suivante, le pH revient à des valeurs proches de celles du témoin.

Ce champ de Konobougou est donc trop acide pour le cotonnier, mais sa récupération est possible en utilisant du fumier ou des ordures ménagères.

Sur le village voisin de Siguidolo, une zone apparaît encore plus acide : le cotonnier ne pousse pas et, en plus, le sorgho et même le mil ne poussent que médiocrement (tableau I). Sur le site 3, les cotonniers montrent des symptômes semblables aux symptômes visibles sur des sols ferrallitiques acides en Côte d'Ivoire, par exemple, sur les parcelles en culture permanente sans amendements calciques des essais de longue durée de la station Idessa-Cv de Bouaké. Les cotonniers lèvent mais ne se développent pas. Un certain nombre de jeunes pieds meurent. Ceux qui

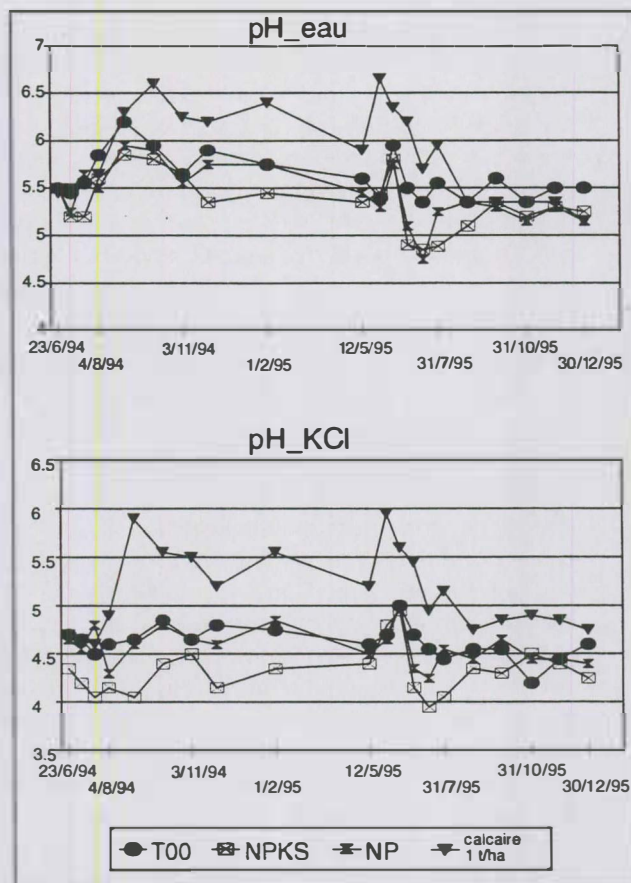


Figure 2. Evolution du pH du sol au cours des années 1994 et 1995, à Konobougou (champ de Broulaye Diarra, horizon 0-20 cm).

survivent émettent deux ou trois petites feuilles et ne poussent plus. Ils restent ainsi, comme momifiés, pendant toute la saison des pluies. En fin de saison, au mois de septembre, ils recommencent à pousser, forment une ou deux petites fleurs, puis ils se dessèchent quand la saison sèche s'installe. Nous interprétons ce comportement comme le résultat de pH bas pendant la saison des pluies et de leur remontée en fin de saison. Les analyses de sol (tableau III) montrent qu'il y a un peu d'aluminium échangeable sur ce site.

Les essais réalisés dans cette zone montrent une certaine réponse du sorgho au fumier et au calcaire broyé (tableau IV). Par contre, aucun des traitements essayés, même le fumier à 10 t/ha, n'a été suffisant pour permettre une croissance substantielle des cotonniers. Des doses d'amendements plus fortes ne seraient guère réalistes dans les conditions socio-économiques actuelles, car les paysans préféreraient, logiquement, aller défricher des bonnes terres à une quinzaine de kilomètres plutôt que de dépenser beaucoup d'argent pour récupérer des terres peu fertiles. Les karités ne poussent pas dans cette zone, si bien que le parc arboré est pauvre (*Cassia sieberiana*, etc.) et que les arbres participent moins que dans

**Tableau II.** Rendements en coton-graine et pH du sol (moyenne des six mesures réalisées entre le 23/6 et le 3/10/94), à Konobougou, suivant les apports de Np et Npks.

	T00	Npks	Np
Coton-graine (kg/ha)	643	476	1 095
pH eau	5.8	5.5	5.6
pH KCl	4.7	4.2	4.6

**Tableau IV.** Effet du calcaire et du fumier sur sorgho (moyenne de 9 variétés) et sur cotonnier sur sol acide à Siguidolo (unité = kg/ha).

		Npk	Npk + calcaire (1 t/ha)	Npk + fumier (5 t/ha)
Sorgho	grains	586	860	730
1995	tiges + grains	2 810	3 725	3 246
Coton	coton-graine	249	134	300
1996	tiges + graines	577	285	705

**Tableau III.** Analyse de terre sur des sites acides des villages de Konobougou et Siguidolo.

	Broulaye Konobougou	Flae9N	Siguidolo Flae8N	Flae9A
<b>Granulométrie (en %)</b>				
Argiles		10,9	13,0	10,1
Limons fins		4,0	3,4	4,4
Limons grossiers		10,0	10,3	9,9
Sables fins		34,4	34,9	38,6
Sables grossiers		40,7	38,4	37,1
<b>Matière organique (en %)</b>				
Matière organique	0,28	0,55	0,50	0,60
Carbone organique	0,16	0,32	0,29	0,35
Azote total	0,21	0,37	0,33	0,36
C/N	7,6	8,7	8,8	9,7
<b>Phosphore (exprimé en P)</b>				
Phosphore total ppm	59			
Phosphore Olsen ppm	8,5	18,3	9,6	6,6
Phosphore Bray n° 2 ppm	7,2			
<b>Complexe absorbant (cobalti-hexamine)</b>				
Ca échangeable cé/kg	1,09	0,66	0,77	0,71
Mg échangeable cé/kg	0,22	0,31	0,39	0,23
K échangeable cé/kg	0,07	0,16	0,13	0,07
Na échangeable cé/kg	0,05	0,03	0,02	0,06
Mn échangeable cé/kg	0,03	0,04	0,05	0,04
Al échangeable cé/kg	0,00	0,04	0,04	0,06
H échangeable cé/kg	0,00	0,01	0,01	0,01
Cec cé/kg	1,33	1,23	1,57	1,18
<b>pH</b>				
pH-eau		5,40	5,30	5,55
pH-KCl		4,30	4,20	4,40
<b>Echantillons frais, dosage Samanko</b>				
pH-eau		4,9	4,9	5,1

d'autres zones du même terroir au maintien de la fertilité. Il faut donc s'attendre à ce que cette zone reste dans l'état où elle est actuellement : des cultures à base de mil qui alternent avec des périodes de jachère d'une dizaine d'années dont les cendres améliorent le pH.

Si l'on observe les positions dans la toposéquence, ces deux zones acides de Konobougou et Siguidolo sont dans des situations comparables, dans la partie

haute du glacié cultivé, juste à l'aval des zones cuirassées. C'est une zone sensible au ruissellement et à l'érosion sélective des éléments fins (Gigou, communication « Les aménagements en courbes de niveau à l'échelle du champ »). Cependant, quand le sol est acide, l'aménagement contre l'érosion ne suffit pas pour permettre la culture continue. Il faut aussi lutter contre l'acidité, ce qui n'est possible, dans les conditions économiques actuelles, que par



l'utilisation du fumier. Deux cas différents se présentent alors suivant la difficulté pour corriger l'acidité :

- si l'apport de fumier à une dose raisonnable, 5 à 10 t/ha au maximum, permet de cultiver du cotonnier, la terre peut être utilisée en culture continue suivant une rotation coton – céréale. Sa fertilité tendra à s'améliorer grâce aux apports d'engrais et de fumier ; cette terre pourra alors être traitée de la même façon que les terres fertiles situées à l'aval sur le glacis cultivé ;
- sinon, la terre ne peut être utilisée que pour des cultures tolérantes à l'acidité, telles que le mil. Dans les conditions socio-économiques actuelles, elle ne peut être conduite qu'en culture itinérante, sans fertilisation ou avec très peu de fertilisation et sa fertilité restera faible ; on observe ainsi un liseré de sols pauvres en culture itinérante autour des zones plus fertiles en culture permanente.

### Samanko ou l'intérêt du brûlage des pailles

La station Icrisat de Samanko, près de Bamako, reçoit environ 1 000 mm de pluie chaque année, mais le sol est acide (tableau V) et souvent les cotonniers

poussent mal. Ainsi, sur les essais du sous-programme agronomie de 1989 à 1993, les rendements étaient habituellement inférieurs à 1 t/ha, sauf après l'apport de fumier.

En 1993, nous avons installé un nouvel essai dans le but d'étudier l'évolution du sol sous culture. Pour cela, nous avons défriché une nouvelle parcelle en jachère depuis de nombreuses années. Le défrichement a été fait sans brûlis. Les analyses du sol prélevé au moment du défrichement sont reportées dans le tableau VI. On vérifie bien que le sol est acide dès la surface, mais il n'y a que très peu de Al échangeable. L'horizon 20-40 cm est plus acide, comme le montre le pH - KCl et la présence d'un peu plus de Al échangeable. Cependant, l'écart entre pH eau et pH - KCl est plus grand et, finalement, pH - eau apparaît plus élevé. Cette observation illustre bien le fait que pH - eau est une mesure assez fluctuante. Il est probable que le pH varie au cours de l'année comme à Konobougou, et qu'il est donc plus élevé en saison sèche et plus faible au début de la saison des pluies, mais nous n'avons pas fait de dosages systématiques pour le vérifier.

Tableau V. Le pH du sol sur la station de Samanko (profondeur = 0-20 cm).

Année	Parcelles	Laboratoire d'analyse	pH-eau	pH-KCl
1991	toutes	Icrisat-Niamey	4,53 à 5,87	
1993	P9b et P9c	Cirad-Montpellier	4,55 à 5,70	4,15 à 5,35
1996	parcelles cultivées	Icrisat-Samanko	4,58 à 5,43	4,03 à 5,15

Tableau VI. Analyses moyennes du sol de l'essai « Evolution du sol » à la station de Samanko. Echantillons prélevés après défrichement et avant la première culture, en octobre 1993. Profondeur = 0-20 cm. Valeur moyenne des 70 parcelles élémentaires.

Profondeur	cm	Série B		Série C	
		0-20	20-40	0-20	20-40
<b>Matière organique</b>					
Carbone organique	%	0,50	0,41	0,44	0,39
Azote total	%	0,51	0,47	0,48	0,46
<b>phosphore (exprimé en P)</b>					
Phosphore total	ppm	137	126	133	124
Phosphore Olsen	ppm	11,6	5,4	8,5	6,7
Phosphore Bray n° 2	ppm	7,0	2,7	7,2	4,0
<b>Complexe adsorbant (cobalti-hexamine)</b>					
Ca échangeable	cé/kg	1,19	1,57	1,17	1,53
Mg échangeable	cé/kg	0,53	0,69	0,48	0,57
K échangeable	cé/kg	0,18	0,09	0,17	0,07
Na échangeable	cé/kg	0,06	0,05	0,06	0,03
Mn échangeable	cé/kg	0,06	0,07	0,04	0,05
Al échangeable	cé/kg	0,01	0,11	0,01	0,09
H échangeable	cé/kg	0,03	0,05	0,03	0,05
pH Cobalti-hexamine		4,81	4,70	4,80	4,63
Cec	cé/kg	2,08	2,66	1,97	2,35
<b>pH</b>					
pH eau		4,97	5,48	4,91	5,50
pH KCl		4,54	4,26	4,59	4,24

**Tableau VII.** Rendements en coton-graine sur l'essai « Evolution du sol » à la station de Samanko, en 1995 et 1996.

Paille	exportée	mulch double	mulch simple	enfouie	brûlée	moyenne
	labour	non labour		labour		
Année 1995 (série C)						
T00	1,99	1,71	1,34	1,73	1,44	1,64
Npk	2,61	2,12	1,63	2,99	3,13	2,50
Npk (avec Pnt)	2,74	2,22	1,02	2,66	3,15	2,36
Fumier 5 t/ha	2,49	1,45	1,48	2,35	2,86	2,12
Fumier 10 t/ha	3,09	2,00	2,22	3,01	2,66	2,59
Fumier 5 t/ha + Npk	2,41	2,27	1,35	2,82	3,65	2,50
Fumier 10 t/ha + Npk	2,73	3,20	1,71	3,19	3,24	2,81
moyenne	2,58	2,14	1,53	2,68	2,87	2,36
Année 1996 (série B)						
T00	1,29	1,23	1,55	1,28	2,48	1,57
Npk	1,93	1,97	2,38	2,15	2,67	2,22
Npk (avec PNT)	2,04	1,87	2,34	1,94	2,09	2,06
Fumier 5 t/ha	1,98	2,21	1,94	2,04	2,78	2,19
Fumier 10 t/ha	2,66	2,07	2,89	2,12	3,06	2,56
Fumier 5 t/ha + Npk	2,24	2,85	2,33	2,40	3,19	2,60
Fumier 10 t/ha + Npk	2,50	2,86	2,72	2,87	3,46	2,88
Moyenne	2,09	2,15	2,31	2,11	2,82	2,30

Mulch simple = pailles laissées sur place

Mulch double = paille produite + paille de la parcelle avec exportation et même fertilisation

Npk avec Pnt = tout le phosphore est apporté par le Pnt

Cet essai est cultivé suivant une rotation triennale coton / maïs / sorgho associé au niébé. Trois séries différentes contiennent chaque année les trois cultures. Les traitements et sous-traitements permettent de comparer différents modes de restitution des pailles et différentes fertilisations. La première année, 1994, était particulière car il n'y avait évidemment pas de restitution des pailles de la récolte précédente. Nous disposons des résultats de 1995 et 1996.

Le cotonnier, semé précocement, a très bien poussé et a donné des rendements élevés (tableau VII). En 1995, il existe une différence importante entre les traitements avec et sans labour, qui est due au fait que les pluies au moment du semis étaient faibles si bien que les traitements sans labour ont mal levé et que de nombreux ressemis ont dû être faits. En 1996, la levée a été identique sur les parcelles avec ou sans labour et il n'y a eu alors que peu d'écart de rendements entre ces deux techniques.

Deux observations montrent l'influence de l'acidité du sol :

– les ressemis poussent mal ; une observation faite le 25/7/97, montre un cotonnier bien développé provenant du premier semis le 31/5/97 et un cotonnier provenant du deuxième semis le 17/6/97 qui reste rabougri ; ce dernier s'est développé, modestement, plus tard dans la saison des pluies ; ce fait est interprété comme la conséquence de la baisse du pH au début de la saison des pluies ; le pH en fin de saison

sèche, non mesuré, devait être compris entre 5,0 et 5,5 alors qu'au moment de la photographie, il était d'environ 4,6 ;

– les rendements sont plus élevés sur les traitements où la paille de sorgho a été brûlée (tableau VII) ; il y avait une petite différence en 1995, en 1996 la différence est énorme, plus de 500 kg/ha de coton-graine.

Il se confirme donc bien que le pH acide de la station est à la limite de ce que le cotonnier, la plante la plus sensible de la rotation, peut supporter. En semant précocement, avec fumier, engrais Npk et brûlis des tiges de l'année précédente, les rendements dépassent 3 t/ha de coton-graine chacune de ces deux années, ce qui est un rendement très élevé correspondant au potentiel dû à une pluviométrie favorable et un sol profond. Mais il suffit d'un semis retardé pour que le développement des cotonniers soit fortement ralenti. Le brûlis des tiges est généralement déconseillé, mais il s'est révélé très favorable dans ces conditions particulières.

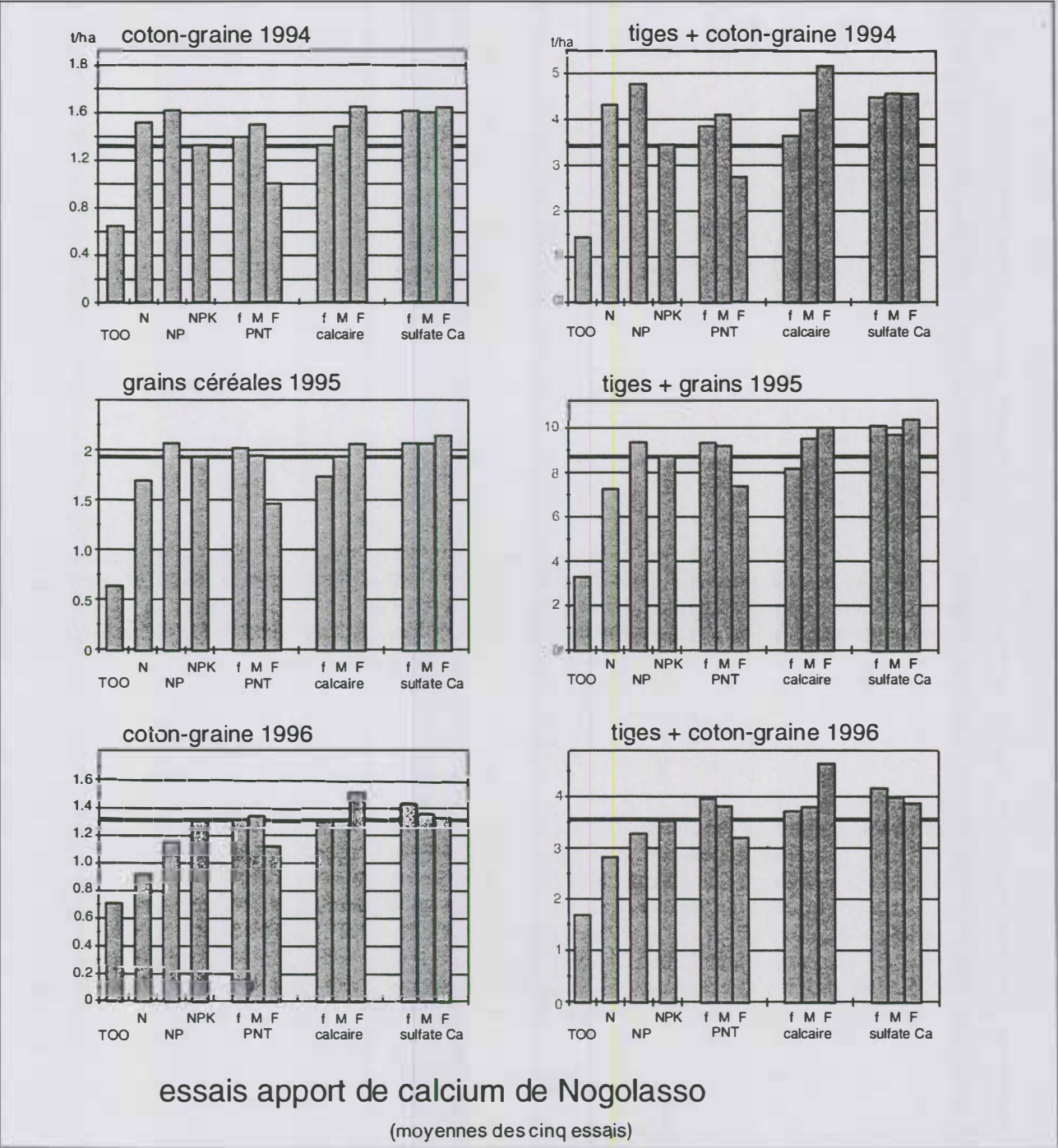
### Nogolasso ou le problème du calcium

Ce village est situé entre Sikasso et Koutiala, dans une région où la pluviométrie annuelle est d'environ 900 à 1 000 mm. Ce village a adopté, au cours des années 80, la petite motorisation par des tracteurs



Tableau VIII. Le pH du sol sur les essais de Nogolasso en juin 1994 (traitement T00, horizon 0-20cm).

	Calcium 1	Calcium 2	Calcium 3	Calcium 4	Calcium 5
pH eau	5,3	5,4	6,1	5,6	5,8
pH-KCl	4,4	4,4	5,0	4,4	4,8



**Figure 3.** Effet d'un complément de calcium, sous forme de phosphate naturel du Tilemsi (Pnt), de calcaire broyé ou de sulfate de calcium (plâtre), à différentes doses sur la rotation coton-céréales (maïs et sorgho associés).  
f = doses faibles = moyenne de 25, 50 et 75 kg/ha/an (avec Npk).  
M = doses moyennes = moyenne de 100 et 200 kg/ha/an (avec Npk).  
F = dose forte = 1000 kg/ha en 1994 et arrière-effet en 1995 et 1996 (avec Npk).  
Les 4 témoins sont : T00 = sans engrais ; N = N seul (urée) ; Np = sans K (phosphate diammonique) et Npk (moyenne de Npk avec chlorure et Npks avec sulfate de potassium).



Bouyer, qui a entraîné une augmentation des surfaces cultivées et des défrichements importants. L'intensification (utilisation d'engrais et de fumier, etc.) est relativement forte. Les paysans se plaignent que les rendements des cotonniers sont passés en une quinzaine d'années d'environ deux t/ha, ce qui permettait de rembourser les investissements sans problèmes particuliers, à environ 1 200 à 1 400 kg/ha, ce qui rend plus difficile les remboursements.

Le pH du sol, proche de 5,5, n'est pas très acide (tableau VIII). Cependant, des essais d'apport de calcium ont été installés dont les résultats sont présentés dans la figure 3.

On constate d'abord que la première année, sur coton, les rendements sont plus faibles avec Npk qu'avec Np seul. C'est là une observation très fréquente, souvent rapportée dans les résultats d'essais de l'1<sup>er</sup>, mais les différences sont faibles et restent au-dessous du seuil de signification statistique. La deuxième année, la différence entre Np et Npk s'estompe, puis la 3<sup>e</sup> année, on commence à observer une réponse au potassium, comme cela est habituel dans des champs cultivés depuis longtemps (Crétenet *et al.*, 1994).

Si l'on ajoute à la fumure Npk du sulfate de calcium, les rendements sont un peu plus élevés qu'avec Npk seul ; 25 à 75 kg/ha de plâtre sont suffisants. Des doses plus fortes n'ont ni avantage, ni inconvénient. On peut noter que des fumures à base de superphosphate simple apporteraient des doses comparables de sulfate de calcium. Cependant, le super simple est un engrais peu concentré, qui subit des frais de transport élevés par unité fertilisante, si bien que son utilisation n'est guère envisageable dans un pays comme le Mali, loin des ports ou des usines de fabrication du superphosphate.

Le calcaire a un effet à la plus forte dose (1 t/ha), mais pas ou peu d'effet aux faibles doses. Nous attribuons cette différence à la plus faible solubilité du calcaire.

Enfin, le phosphate naturel n'a pratiquement pas d'effet dans les conditions de cet essai. Les doses d'engrais ont été choisies de telle façon que le P du phosphate naturel n'ait pas d'effet sur les rendements. En effet la dose de P soluble (du phosphate diammonique) est suffisante pour satisfaire les besoins de la culture. L'effet du calcium apporté par le Pnt, objet de cet essai, peut alors être déduit des comparaisons avec le calcaire et le sulfate de calcium. Il apparaît clairement que cet effet est faible. Pour une raison inconnue, la dose 1 000 kg de Pnt, apporté en 1994, a donné des rendements plus faibles.

Deux cents kg/ha d'augmentation du rendement, cela peut sembler modeste. C'est à la limite de signification des tests statistiques et c'est très inférieur à l'effet habituel de l'azote ou du phosphore. Mais, à priori, il pourrait être rentable d'apporter 50 kg de sulfate de

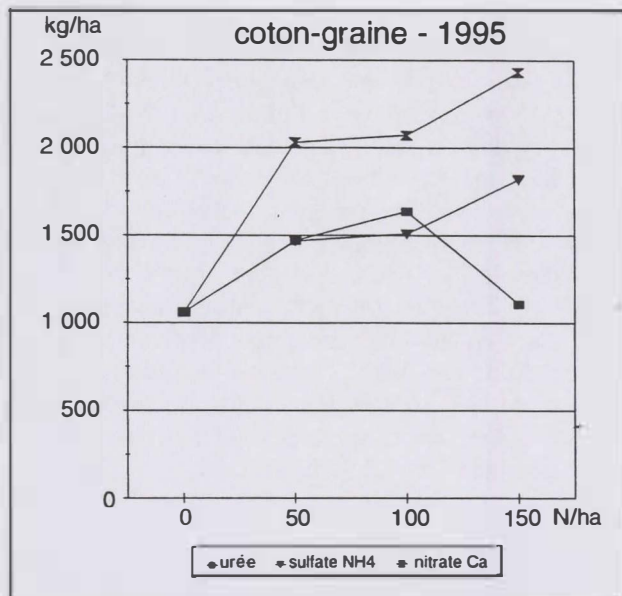


Figure 4. Comparaison entre nitrate de calcium, urée et sulfate d'ammoniaque, apportés au semis. Essai forme d'azote réalisé à Nogolasso (région de Sikasso).

calcium pour obtenir 200 kg de grains, surtout en utilisant du phospho-gypse, un sous-produit de la fabrication du super phosphate souvent gênant pour les usines. C'est pourquoi ces résultats préliminaires, qui suggèrent des effets de l'équilibre entre cations K et Ca, méritent d'être confirmés dans d'autres situations.

Le nitrate de calcium, qui apporte beaucoup de Ca, peut aussi avoir des effets très favorables sur cotonnier, nettement supérieurs à ceux de l'urée ou du sulfate d'ammonium qui n'apportent pas de Ca et sont au contraire acidifiants (figure 4). Malgré les grandes différences de rendement observées, il est peu probable que le nitrate de calcium puisse être utilisé sur cotonnier. En effet, il est peu concentré (15,5 %) et supporte donc des frais de transport élevés par unité d'azote. De plus, très hygroscopique, il pose des problèmes de stockage en période humide et d'épandage. Mais ce résultat confirme bien l'intérêt des apports de calcium dans certaines situations.

## Conclusion

Dans la région Mali-Sud, certains sols sont trop acides pour le cotonnier, la plante la plus sensible de la rotation coton-céréales habituelle. Dans les conditions économiques actuelles, il n'est pas possible d'envisager des investissements importants pour corriger l'acidité, mais on peut y pratiquer une culture itinérante à base de plantes tolérantes à l'acidité, comme le mil ou le niébé, qui ne reçoivent pas ou presque pas d'engrais. Ces sols forment donc des zones de culture itinérante, en marge des zones de

culture continue coton - céréales plus intensive établies sur les sols plus fertiles.

Dans les zones un peu plus fertiles où le cotonnier pousse correctement, des problèmes se posent quand l'acidité est juste à la limite de ce qui est tolérable : les risques d'échecs des cultures sont plus élevés et les semis tardifs poussent mal. L'apport de fumier est alors une technique efficace et déjà largement utilisée par les paysans. L'apport d'une petite dose de calcium, sous forme de sulfate, a donné aussi une augmentation du rendement modeste mais qui pourrait être rentable. Ces cas où le coton pousse relativement bien sont certainement plus favorables que les sols très acides pour des actions visant à améliorer l'équilibre en calcium des sols.

## Références citées

- AHN P.M., 1993. Tropical soils and fertilizer use. Longman, Harlow, Essex 264 p.
- BELL L.C., BESSHO T., 1993. Assessment of aluminium detoxification by organic materials in an Ultisol, using soil solution characterization and plant response. In MULONGOY K., MERCKX R. (Eds), 1993. Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture. Proceeding International Symposium Leuven, Belgium, 1991/11/4-6. Wiley-Sayce, p. 317-330.
- BEREK A.K., RADJAGUKGUK B., MAAS A., 1995. The effect of different organic materials on the alleviation of Al toxicity in soybean on a red-yellow podzolic soil. In Date R.A., Grundon N.J., Rayment G.E., Probert M.E. (Eds) : Plant-soil interactions at low pH: principles and management. Proceeding Third International Symposium on Plant-Soil Interactions at Low pH, Brisbane, Queensland, Australia, 1993/9/12-16. Developments in Plant and Soil Sciences, 64 : 579-584.
- BOUWMEESTER R.J.B., VLECK P.L.G., STUMPE J.M., 1985. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from a urea-fertilized soil. Sssa J. 49 (2) : 376-381.
- BUDELMAN A., VAN DER POL F. van der 1992. Farming systems research and the quest for sustainable agriculture. Agroforestry systems 10 : 187-206.
- BURESH R.J., 1987. Ammonia volatilization from point placed urea in upland, sandy soil. Fertilizer Research 12 (3) : 263-268.
- CRETENET M., DUREAU D., TRAORE B., BALLO D., 1994. Fertilité et fertilisation dans la région sud du Mali : du diagnostic au pronostic. Agriculture et développement 3 : 4-12.
- DOMMERGUES Y., MANGENOT F., 1970. Ecologie microbienne du sol. Paris, Masson, 796 p.
- DUCHAUFOR P., 1970. Précis de pédologie. 3<sup>e</sup> édition. Paris, Masson, 481 p.
- EDWARDS D.G., BELL L.C., 1989. Acid Soils Infertility in Australian Tropical soils. In Craswell E.T., Pushparajah E. (Eds) : Management of Acid Soils in the Humid Tropics of Asia. Aciar Monograph n° 13, p. 20-31.
- ESWARAN H., BEINROTH F.H., KIMBLE J., COOK T., 1992. Soils diversity in the Tropics : Implications for Agricultural Development. In LAL R., SANCHEZ P.A. (Eds) : Myths and science of Soils of the Tropics. Sssa Spec Pub 29 : 1-16.
- FALLAVIER P., BABRE D., 1990. Statut de l'aluminium dans deux sols tropicaux acides à minéralogie différenciée. In BERTRAND R., SAINT MACARY H. (Eds) : Agronomie et ressources naturelles en région tropicales. Actes des journées de la Drn Montpellier, 1989/9/12-15. Irat, p. 247-254.
- GROS A., 1979. Engrais. Guide pratique de la fertilisation. 7<sup>e</sup> édition. La maison rustique. Paris, 382 p.
- KRETZSCHMAR R.M., HAFNER H., BATIONO A., MARSCHNER H., 1991. Long and short-term effects of crop residues on aluminium toxicity, phosphorus availability and growth of pearl millet in an acid sandy soil. Plant and Soil 136 : 215-223.
- LANDAIS E., LHOSTE P., GUERIN H., 1991. Systèmes d'élevage et transferts de fertilité. In Pieri C. (Ed.) : Savanes d'Afrique, terres fertiles ? Montpellier, France. Cirad, p. 219-270.
- LAUDELOUT H., 1992. Le chaulage du sol forestier. Cahiers Agricultures 1 (4) : 264-269.
- MELGAR R.J., SHYTH T.J., SANCHEZ P.A., CRAVO M.S., 1992. Fertilizer: nitrogen movement in a Central Amazon, Oxisol and antisol. Fertilizer research 31 (2) : 241-252.
- MONNIER Y., 1990. La poussière et la cendre. Paysages, dynamique des formations végétales et stratégies des sociétés en Afrique de l'Ouest. 2<sup>e</sup> édition. Paris, ministère de la coopération, 265 p.
- NYE P.H., GREENLAND D.J., 1960. The soil under shifting cultivation. Tech Comm 51, Commonwealth Bur Soils Harpenden, Bucks, UK, 156 p.
- PICHOT J., SEDOGO M.P., POULAIN J.F., ARRIVETS J., 1981. Evolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence de fumures minérales et organiques. L'Agronomie Tropicale 36 (2) : 122-133.
- PIERI C., 1987. Bilans minéraux des sols cultivés en zone de savane humide de Madagascar et d'Afrique de l'Ouest. In Intensification de l'agriculture pluviale : relations entre la plante, le sol et l'eau. Mémoires et Travaux de l'Irat n° 13, p. 1-31.
- PIERI C., 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherches et de développement agricoles au sud du Sahara. Paris. Ministère de la coopération et Cirad-Irat, 444 p.

- POULAIN J.F., 1976. Amélioration de la fertilité des sols agricoles du Mali. Bilan de treize années de travaux (1962-1974). *L'Agronomie Tropicale* 31 (4) : 402-416.
- RECOUS S., 1987. Les mécanismes de la transformation de l'azote dans le sol. Perspectives agricoles, numéro spécial : fertilisation azotée et soufrée, 115 : 100-105.
- SANCHEZ P.A., BENITES, 1988. Low-input cropping for acid soils of the humid tropics: a transition technology between shifting and continuous cultivation. *In* Ibsram : Land development and management of acid soils in Africa II. Ibsram Proceedings 7 : 85-106.
- SANCHEZ P.A., LOGAN T.J., 1992. Myths and Science about the Chemistry and Fertility of Soils in the Tropics. *In*, LAL R., SANCHEZ P.A. (Eds) : Myths and science of Soils of the Tropics. Sssa Spec Pub 29 : 35-46.
- SANCHEZ P.A., SALINAS J.G., 1981. Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols in Tropical America. *Adv Agron* 34 : 279-406.
- SCHMIDT D.R., CASLER M.D., SAEFUDDIN A., 1990. Crop response to lime and phosphorus on new bench terraces in the tropics. *Agron J.* 82 (2) : 333-337.
- SEMENT G., 1983. La fertilité des systèmes à base de cotonnier en Côte d'Ivoire. Suppl. à *Coton Fibres Trop.* Série Documents études et synthèses n° 4, 40 p.
- SOUBIES L., GADET R., LENAIN, 1955. Recherches sur l'évolution de l'urée dans les sols et sur son utilisation comme engrais azoté. *Annales Agronomiques* 6 : 977-1033.
- STEINER K.G., 1982. Intercropping in Tropical Smallholder Agriculture with Special reference to West Africa. GTZ. Eschborn. West Germany, 250 p.
- TISDALE S.L., NELSON W.L., BEATON J.D., 1985. Soil Fertility and Fertilizers. 4th Edition. McMillan, New York, Etats-Unis, 754 p.
- UEXKULL Von H.R., BOSSHART R.P., 1989a. Emploi rationnel des engrais sur les sols acides en zones tropicales humides. *Bulletin Fao Engrais et Nutrition Végétale* n°10. Rome, FAO, 56 p.
- UEXKULL Von H.R., BOSSHART R.P., 1989b. Management of Acid Upland Soils in Asia. *In* CRASWELL E.T., PUSHPARAJAH E. (Eds): Management of Acid Soils in the Humid Tropics of Asia. *Acicar Monograph* n° 13.
- URIBE E.B., 1989. Phosphorus and potassium in acid soils. *In* Acid Tropical Soil Management and Land Development Practices. Ibsram Technical Notes n° 2, p. 79-104.



Session V

**Développement.  
Les aspects variétaux  
et la protection des cultures**



# **E**tude de nouvelles variétés de sorgho en milieu paysan dans la zone cotonnière Cmdt au Mali (1995-1996)

J. CHANTEREAU, M. AG HAMADA

Programme conjoint sorgho Icrisat/Cirad, BP 320, Bamako, Mali

A. BRETAUDEAU

Ipr, Institut polytechnique rural de Katibougou, BP 6, Katibougou, Mali

S.O. TEMBELY

Cmdt, Compagnie malienne pour le développement des textiles, BP 487, Bamako, Mali

**Résumé** — Au Mali, une collaboration entre différents partenaires a permis l'évaluation de nouvelles variétés de sorgho sélectionnées chez des paysans élités de la zone Cmdt. Ainsi, entre 1995 et 1996, 60 tests variétaux ont été organisés dans six secteurs de la Cmdt appartenant à deux zones climatiques différentes. Dans chacune de ces zones, deux variétés testées ont été unanimement appréciées par les paysans : la Miksor 86-30-41 en zone nord-soudanienne et la Is 15401 en zone sud-soudanienne. Ces deux variétés ont été résistantes au striga et productives avec des rendements souvent supérieurs aux variétés locales. Elles ont également présenté une bonne qualité de grain et de bonnes aptitudes culinaires. La variété Is 15401 a diffusé spontanément auprès des paysans. Cependant, sa photopériodicité incite à préconiser son utilisation en zone sud en milieu ou bas de toposéquence sur des terres non inondables mais accumulant des réserves en eau. Dans certains terroirs, d'autres variétés présentent des caractéristiques intéressantes : la Cgm 19/9-1-1 pour sa productivité malgré sa sensibilité au striga et sa difficulté de battage ou la variété lcsv 901 qui, outre sa productivité, offre une bonne qualité de feuillage pour l'alimentation animale. Une enquête auprès des paysans a montré que de nombreux caractères interviennent dans leurs choix variétaux.

**Abstract** — On farm tests of new sorghum varieties in the Cmdt cotton belt of Mali. Farmers in the Cmdt zone evaluated new sorghum varieties, mainly bred from guinea germplasm, in collaboration with Ipr, Ier and the Joint Sorghum Program of Icrisat-Cirad. During 1995 and 1996, 60 varietal tests were conducted across six Cmdt sectors in two different climatic areas: the northern and southern sudanian zones. Farmers appreciated two varieties: Miksor 86-30-41 in the north and Is 15401 in the south. In their respective areas, these two varieties appeared to be Striga-resistant and often exhibited yield advantages over the local varieties. They also exhibited good grain quality and cooking properties. Farmers have sponta-

neously adopted Is 15401 since its first tests in 1995. However, due to photoperiod sensitivity, Is 15401 flowers around 20 October. Farmers in the south have been advised to sow it on low-land soil which are not prone to flooding, but having good water holding capacity. At other locations, specific varieties performed well. At Konobougou, Cgm 19/9-1-1 had excellent yield which made up for its disadvantages: Striga susceptibility and threshing difficulty. In Konobougou and M'Pessoba sectors, the variety lcsv 901 had high yield and good straw quality for animal consumption but its grain quality was not much appreciated. A survey among farmers showed that many traits account for varietal choice.

Une collaboration a été établie, en 1995 et 1996, entre l'Ipr, la Cmdt et le programme conjoint Cirad/Icrisat afin de tester des nouvelles variétés de sorgho en milieu paysan au sein du dispositif de la Cmdt. Ce travail a été confié à des étudiants de l'Ier en stage de fin d'études. Il a permis de faire connaître au milieu paysan de nouvelles variétés de sorgho, essentiellement d'origine guinea et issues de programmes de sélection conduits au Mali par l'Ier, l'Ipr, l'Icrisat ou le programme conjoint sorgho Cirad/Icrisat. Au total, dix étudiants (cinq en 1995 et cinq en 1996) ont réalisé 60 tests variétaux, en deux ans, dans des localités représentatives de la diversité de la zone d'intervention de la Cmdt : Dicko (1995), Bakary (1995), Dembelé (1995), Traoré (1995), Oumar (1995), Bamadio (1996), Kamaté (1996), Maïga (1996), Sangaré (1996), Sanogo (1996).

Les nouvelles variétés de sorgho choisies pour les tests ont été comparées à des témoins locaux au sein de dispositifs appropriés au milieu paysan. Durant la

durée des tests et après les récoltes, les avis des paysans ont été recueillis. Les étudiants ont également relevé des observations sur le comportement des variétés dans des conditions réelles d'utilisation. L'exploitation des mesures collectées dans les tests a été plus particulièrement axée, pour chaque variété, sur :

- le comportement photopériodique ;
- le comportement vis-à-vis des parasites et notamment vis-à-vis du striga ;
- le rendement et sa stabilité.

Par ailleurs, les appréciations paysannes sur les variétés, avant et après récolte, ont été analysées.

## Conduite des tests

### Choix des lieux d'installation des tests

En 1995, cinq secteurs répartis du nord au sud de la zone cotonnière du Mali ont été choisis en liaison avec la Cmdt pour la réalisation des tests. Ces secteurs ont été les suivants :

- secteur de Kimparana : latitude 12° 50' ;
- secteur de M'Pessoba : latitude 12° 37' ;
- secteur de Dioila : latitude 12° 29' ;

- secteur de Koumantou : latitude 11° 25' ;
- secteur de Kadiolo : latitude 10° 33'.

En 1996, de nouveaux tests ont été conduits dans les mêmes secteurs à l'exception du secteur de Dioila, remplacé par celui de Konobougou (latitude 12° 55' N) (figure 1).

Chaque année, un étudiant a eu en charge un secteur donné avec la responsabilité du suivi de six tests variétaux. La réalisation des tests a été confiée aux paysans volontaires encadrés par la Cmdt sur la base d'un test par paysan et par année.

### Exploitations conduisant les tests

Les exploitations des paysans volontaires étaient pratiquement toutes de type A selon la typologie de la Cmdt<sup>(1)</sup>.

Dans les exploitations ayant mis en place les tests, la culture du sorgho est de façon générale prépondérante (tableau I).

(1). Une exploitation de type A est une exploitation pratiquant la culture attelée disposant d'au moins deux paires de bœufs, d'une charrue, d'un multiculteur, d'un semoir, d'une charrette asinienne ou bovine et d'un troupeau d'au moins 10 têtes y compris les bœufs de labour.

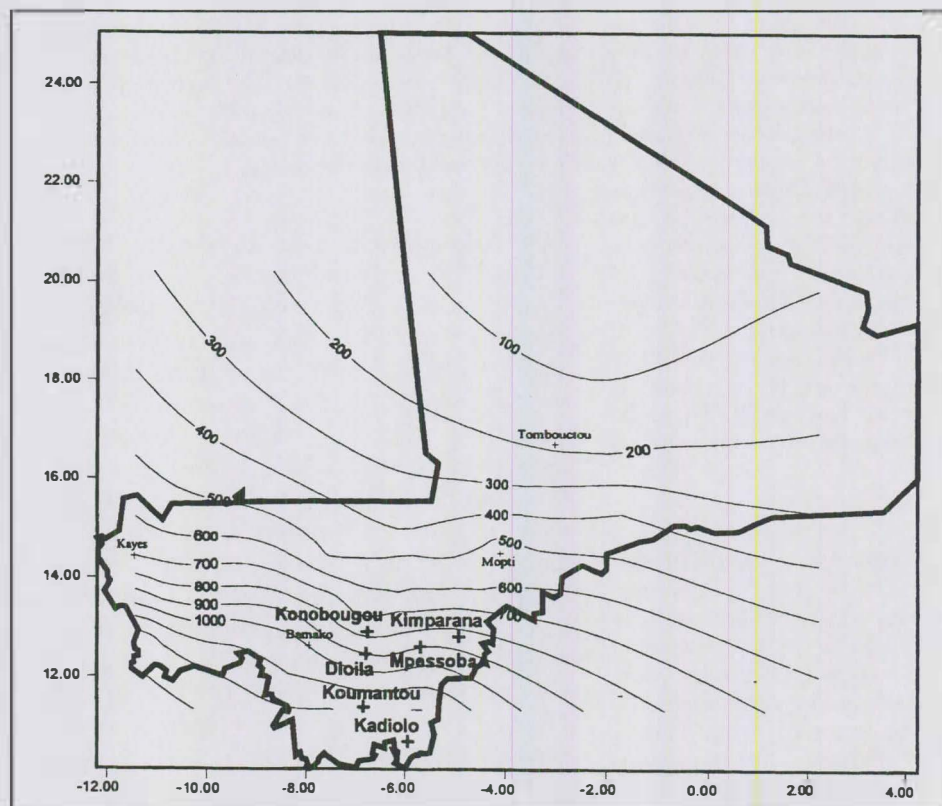


Figure 1. Carte du Mali avec les isohyètes et la position des différents secteurs de la Cmdt où ont été conduits les tests variétaux du sorgho.



**Tableau I.** Situation des céréales en 1995 et 1996 dans les exploitations ayant conduit les tests (en % de la surface céréalière consacrée à chaque culture). Les résultats sont données par secteur Cmdt où les tests ont été implantés.

Secteur Cmdt	1995				1996			
	Sorgho	Maïs	Mil	Autres (riz, fonio)	Sorgho	Maïs	Mil	Autres (riz, fonio)
Kimparana	47	5	48	0	49	5	46	0
M'Pessoba	54	17	24	5	52	19	29	0
Dioila	83	17	0	0				
Konobougou					68	32	0	0
Koumantou	50	31	16	3	62	34	4	0
Kadiolo	23	39	22	16	25	43	24	8

En 1995 et 1996, l'importance relative des différentes cultures céréalières est restée stable. En moyenne, les surfaces consacrées au sorgho, dans les secteurs suivis, se sont maintenues à une valeur de 51 %. Par exploitation, l'emblavure en sorgho a représenté 5,95 ha en 1995 et 5,12 ha en 1996, ce qui est proche de la moyenne Cmdt de 5,28 ha pour les exploitation de type A pratiquant la culture du sorgho (Giraudy, 1995).

En culture céréalière, le sorgho occupe la première place dans tous les secteurs sauf celui de Kadiolo, le plus au sud, où le maïs est prépondérant. Il apparaît que l'importance du maïs, en liaison avec la pluviométrie, diminue du sud au nord de la zone cotonnière. Ainsi, dans le secteur septentrional de Kimparana, le maïs devient marginal tandis que le mil fait jeu égal avec le sorgho.

### Dispositif expérimental

Pour des raisons d'interprétation statistique, les dispositifs expérimentaux ont été imposés par la recherche.

En 1995, le dispositif standard par paysan a été le suivant :

- test à 2 répétitions ;
- semis réalisé en ligne avec un écartement de 0,80 m entre lignes et 0,30 m entre poquets ;
- dans chaque répétition, semis de chaque variété dans une parcelle élémentaire de sept lignes de 20 m de long (surface 113,68 m<sup>2</sup>) ;
- parcelle utile à la récolte des 5 lignes centrales de chaque parcelle élémentaire avec élimination de 2 m de part et d'autre de chaque ligne (surface 65,20 m<sup>2</sup>).

En 1996, sur les recommandations de l'Icrisat, un dispositif de blocs éclatés à une répétition a été adopté par exploitation mais avec un témoin commun à tous les tests et répété 2 fois dans chaque test. La taille des

parcelles élémentaires et les écartements n'ont pas été modifiés.

### Condition de réalisation des tests

Dans chaque secteur, la conduite culturale des tests a été laissée à l'initiative des paysans, libres de suivre les conseils de la Cmdt ou des étudiants de l'Ipr.

Tous les tests ont été menés en conditions pluviales, souvent sans engrais (22 tests sur 30 en 1995 et 14 tests sur 30 en 1996). Dans un secteur donné, il y a pu y avoir de grandes différences dans les dates de semis des tests. Ainsi en 1995, les semis des tests du secteur de Kadiolo se sont échelonnés du 11 juin au 2 août.

Les récoltes des variétés les plus précoces ont été souvent différées dans l'attente de la maturité de la variété la plus tardive. Cette disposition a été préjudiciable aux variétés les plus précoces qui ont été anormalement exposées aux dégâts des oiseaux et des intempéries.

### Variétés testées

En 1995, quatre variétés sélectionnées, d'origine guinea, ont été comparées entre elles et à un témoin local choisi par le paysan. Ces variétés, antérieurement mises en valeur dans les essais en station, étaient les suivantes :

- deux variétés de l'Ipr, des mutants de variétés locales guinea maliennes : Miksor 86-25-20 et Mipsor 90-30-23.
- deux variétés du programme conjoint Icrisat/Cirad : Is 15401 — écotype guinea-caudatum camerounais repéré à la station de Samanko — et Cgm 19/9-1-2 — lignée à paille raccourcie sélectionnée dans les des-

cendances d'un croisement entre deux variétés locales guinea ;

– pour rappel, un témoin local choisi par le paysan.

En 1996, un meilleur ajustement variétal aux différentes situations de la zone cotonnière Cmdt a été entrepris. Un test variétal sorgho a été adapté à chaque grande région climatique de la zone cotonnière : la région nord-soudanienne à pluviométrie annuelle moyenne de 800 à 1 000 mm (secteurs de Konobougou, Kimparana et M'pessoba) et la région sud-soudanienne à pluviométrie annuelle moyenne supérieure à 1 000 mm (secteurs de Koumantou et Kadiolo).

Les variétés retenues pour le test spécifique à la zone nord-soudanienne ont été les suivantes :

- la Miksor 86-30-41, variété mutante sélectionnée par l'Ipr, suite à l'irradiation de la variété locale malienne guinea : Csm 388 ; cette variété a servi de témoin dupliqué et commun à tous les tests ;
- la Midsor 88-10-01, variété mutante sélectionnée par l'Ipr, suite à l'irradiation de la variété locale malienne guinea : Csm 228 ;
- la Csm 355, bonne variété locale guinea malienne issue des prospections de l'Ier ;
- la N'ténimissa, lignée de type guinea à paille courte sélectionnée par l'Ier, issue du croisement entre Bimbiri-Soumale par Zera-Zera ;
- la Cgm 19/9-1-1, lignée sœur de la variété testée en 1995 : Cgm 19/9-1-2, de type guinea à paille raccourcie et sélectionnée par le programme conjoint Cirad/Icrisat à partir du croisement de deux variétés locales guinea ;
- la lcsv 901, variété sélectionnée par l'Icrisat au Nigeria, à paille courte et à panicule compacte avec des grains de type caudatum, se distinguant des

autres variétés testées toutes très marquées par leur origine guinea ;

– un témoin local commun à tous les tests d'un même secteur.

Les variétés (plus tardives que les précédentes) retenues pour le test spécifique à la zone sud-soudanienne ont été les suivantes :

- la Miksor 86-30-41, variété mutante sélectionnée par l'Ipr suite à l'irradiation de la variété locale malienne guinea : Csm 388 ; cette variété a servi de témoin dupliqué et commun à tous les tests ;
- la Mipsor 90-30-23, variété mutante de l'Ipr déjà testée en 1995 ;
- la Csm 485, variété locale guinea malienne issue des prospections de l'Ier ;
- la Foulatieba, variété locale malienne prospectée et recommandée par l'Ier ;
- la Is 1540, variété locale camerounaise de type guinea-caudatum déjà testée en 1995 ;
- un témoin local qui, dans un secteur donné, a été le même dans tous les tests.

Un récapitulatif des choix variétaux pour les tests paysans sorgho 1995 et 1996 est présenté dans le tableau II.

## Résultats variétaux

### Comportement photopériodique des variétés

L'important décalage des semis paysans a permis de juger des effets de la date d'implantation des variétés

**Tableau II.** Liste des variétés sorgho retenues pour les tests en milieu paysan Cmdt en 1995 et 1996.

1995		1996			
Ensemble des secteurs		Zone nord-soudanienne		Zone sud-soudanienne	
Variétés	Type variétal	Variétés	Type variétal	Variétés	Type variétal
Miksor 86-25-20	Mutant guinea	Miksor 86-30-41	Mutant guinea témoin commun	Miksor 86-30-41	Mutant guinea témoin commun
Mipsor 90-30-23	Mutant guinea	Midsor 88-10-01	Mutant guinea	Mipsor 90-30-23	Mutant guinea
Cgm 19/9-1-2	Lignée guinea sélectionnée	Cgm 19/9-1-1	Lignée guinea sélectionnée	Csm 485	Variété locale guinea malienne
Is 15401	Variété locale du Cameroun	N'ténimissa	Lignée guinea sélectionnée	Is 15401	Variété locale du Cameroun
Témoin local	Variété locale guinea	lcsv 901	Lignée caudatum sélectionnée	Foulatieba	Variété locale guinea malienne
		Csm 355	Variété locale guinea malienne	Témoin local	Variété locale guinea
		Témoin local	Variété locale guinea		

sur la durée de leur cycle végétatif. Pour une variété donnée, on a rapporté, sous forme graphique, la durée de la phase végétative (nombre de jours du semis à l'émission de la feuille paniculaire) en fonction de la date de semis (en numéro du jour de l'année). Ainsi, on a pu mettre en évidence le photopériodisme des variétés testées c'est-à-dire leur aptitude à raccourcir leur cycle en fonction de la décroissance des longueurs de jour. La figure 2 montre, à partir des tests conduits en 1995, que Is 15401 est une variété très photopériodique. Quelle que soit sa date de semis, elle a émis sa feuille paniculaire entre le 12 et le 16 octobre. Entre le semis le plus précoce (6 juin) et le semis le plus tardif (13 août), soit un décalage de semis de 68 jours, son cycle végétatif est passé de 128 à 64 jours, soit un cycle réduit de 64 jours. Cette réduction du cycle rapportée au déca-

lage de semis a permis d'établir un indice de photosensibilité. Pour une variété strictement photopériodique, le rapport attendu est de 1, pour une variété non photopériodique, le rapport doit être égal à zéro. Ici, pour Is 15401, ce rapport est très élevé : 0,94 (64/68).

Le même travail a été réalisé pour la variété N'ténimissa à partir des tests conduits en 1996 dans les 3 secteurs où elle était engagée (figure 2). Le cycle de cette variété a peu varié en fonction de la date de semis : un décalage de semis de 32 jours entre le premier (18/06) et le dernier semis (20/07) n'a entraîné une réduction de cycle que de 4 jours (76 jours de cycle végétatif dans un cas contre 72 jours dans l'autre). Avec un indice de photosensibilité égal à 0,125 (4/32) lcsv 901 se révèle peu photopériodique.

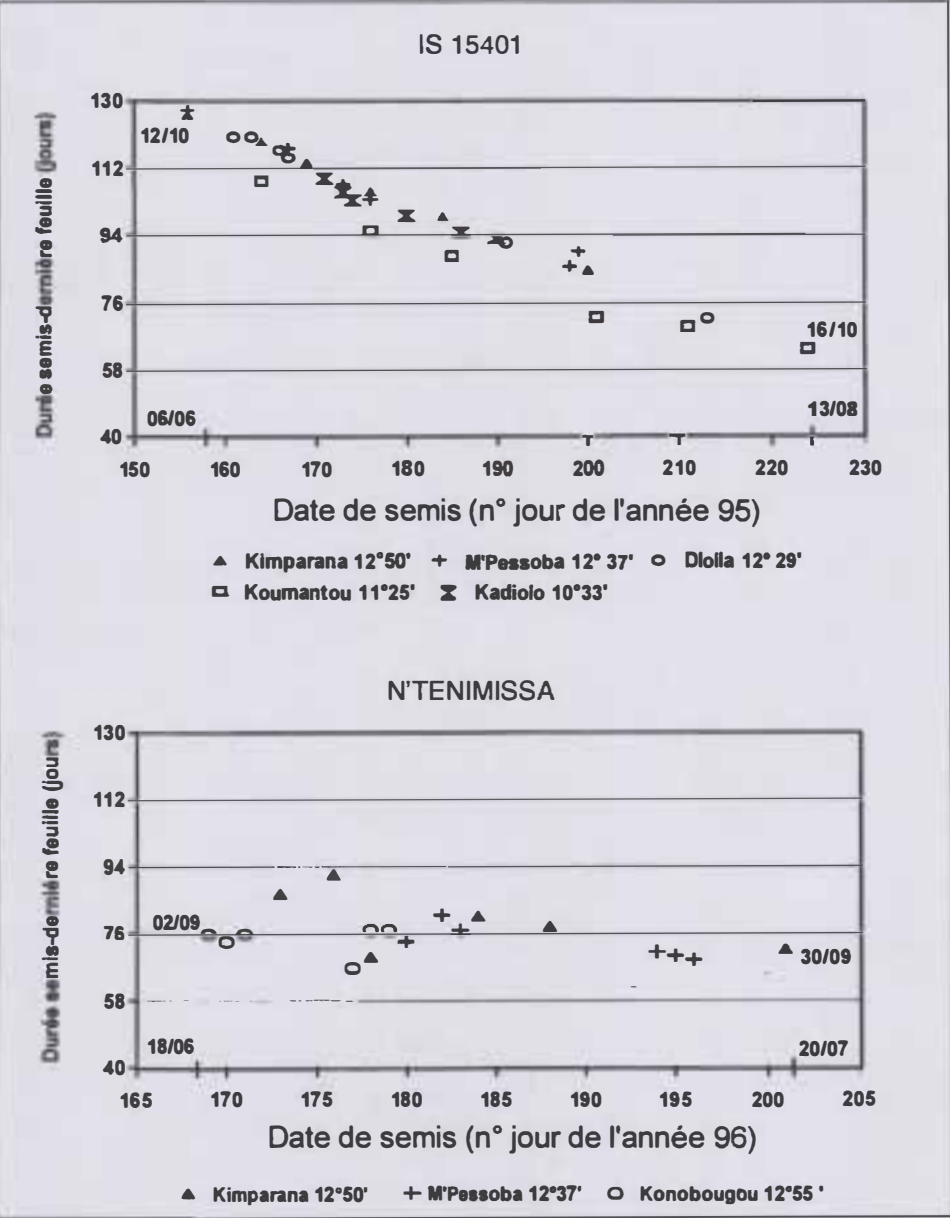


Figure 2. Variation de la durée de la phase végétative de Is 15401 et N'tenimissa en fonction de la date de semis des tests paysans.



Toutes les variétés testées ont été caractérisées et classées en fonction de cet indice de photosensibilité et de l'étalement de leur épiaison, observé sur l'ensemble des tests en 1995 et 1996 (tableau III). Les variétés testées ont été classées en 3 groupes de photosensibilité :

- groupe très photopériodique : indice supérieur à 0,8 : Foulatieba, Is 15401, Csm 485, Miksor 86-25-20, Mipsor 90-30-23 ;
- groupe moyennement photopériodique : indice compris entre 0,5 et 0,7 : Cgm 19/9-1-2, Mipsor 88-10-01, Cgm 19/9-1-1, Miksor 86-30-41 et Csm 355 ;
- groupe peu ou pas photopériodique, indice inférieur à 0,25 : lcsv 901 et N'ténimissa.

Pour les variétés très photopériodiques dont la date de floraison est pratiquement fixe quelle que soit la date de semis, une zone climatique optimale de diffusion a été délimitée schématiquement à partir d'une correspondance entre la date d'épiaison moyenne et la répartition spatiale des dates de fin de saison des pluies dans la zone cotonnière. En première analyse, la condition pour qu'il y ait adéquation entre le cycle d'une variété et les contraintes climatiques, est que la date d'épiaison de la variété soit d'environ 15 jours plus précoce que la date de fin de saison des pluies (Ouattara *et al.*, 1997), on peut alors dire que :

- Foulatieba est bien adapté à la zone de Sikasso (fin de saison des pluies 11/10) ;
- Csm 485 est bien adapté à la zone de Kadiolo (fin de saison des pluies 14/10) ;
- Is 15401 n'est bien adapté à aucune région du Mali ; ce résultat est toutefois à nuancer car, en zone sud-soudanienne, les paysans utilisent, dans les nombreux bas-fonds et les terres à bonne rétention en eau, des sorghos beaucoup plus tardifs que ne le permet la durée de la saison des pluies.

Pour les variétés moyennement photopériodiques, l'ajustement est plus délicat, puisque leur date d'épiaison qui est influencée par la date de semis et la latitude, n'est pas strictement établie.

## Comportement vis-à-vis des parasites

Durant les deux années de test, un important travail d'observation a été conduit sur le striga. En 1996, les observations ont également porté sur la résistance des variétés aux principales maladies foliaires.

### Striga

En 1995, une évaluation variétale de la résistance au striga a été effectuée sur 24 des 30 tests à partir du dénombrement des pieds de striga présents à la mi-octobre dans les cinq lignes centrales de chaque parcelle. En 1996, le même travail a été effectué sur les 30 tests de l'année. Les données ont servi au calcul du nombre de plantes de striga au m<sup>2</sup> observés sur chaque test. La variable a été représentée sous forme d'histogramme par la figure 3.

Sur l'ensemble des 54 tests, seuls 5 tests ont été complètement indemnes d'attaques. Le striga a donc été présent un peu partout (91 % des tests). Quatre tests ont été très infestés avec plus de 10 plantes de striga au m<sup>2</sup>. Néanmoins, 30 tests ont présenté une densité de striga inférieure à une plante au m<sup>2</sup>. Au total, 35 % des tests ont plus de une plante de striga au m<sup>2</sup>. Ce résultat est proche de celui de la Cmdt qui évalue ce pourcentage à 30 % (Giraudy, 1995).

La même variable (nombre de plantes de striga au m<sup>2</sup>) sur les tests paysans a été considérée par année et par secteur Cmdt de notre étude (tableau IV). Bien que son importance soit variable d'une année à l'autre et dans un même secteur, le striga est présent sur tous les terroirs.

L'étude du comportement des variétés testées a, par ailleurs, été menée. Le dénombrement des plantes de striga par parcelle élémentaire de chaque test a été

**Tableau III.** Caractérisation du comportement photopériodique des variétés testées en milieu paysan Cmdt.

Variétés	Indice de photosensibilité	Etalement de l'épiaison observé soit en 1995 soit en 1996 ( ) année de référence
Foulatieba	1,00	28/09 + ou - 1 jour (1996)
Is 15401	0,94	21/10 + ou - 3 jours (1995)
Csm 485	0,88	05/10 + ou - 4 jours (1996)
Miksor 86-25-20	0,81	du 26/09 au 11/10 (1995)
Mipsor 90-30-23	0,81	du 26/09 au 11/10 (1995)
Cgm 19/9-1-2	0,69	du 21/09 au 10/10 (1995)
Midsor 88-10-01	0,63	du 27/09 au 02/10 (1996)
Cgm 19/9-1-1	0,56	du 24/09 au 06/10 (1996)
Miksor 86-30-41	0,56	du 26/09 au 04/10 (1996)
Csm 355	0,56	du 28/09 au 04/10 (1996)
lcsv 901	0,22	du 10/09 au 03/10 (1996)
N'Ténimissa	0,13	du 14/09 au 09/10 (1996)

exploité statistiquement par une analyse de variance après une transformation préalable (racine carrée). Trois types de tests ont été analysés :

- le test de 1995 conduit chez 24 paysans ;
- le test de 1996 pour la zone nord-soudanienne (18 paysans) ;
- le test de 1996 pour la zone sud-soudanienne (12 paysans).

Les résultats des tests de 1995 sont présentés dans le tableau V.

Le Cv est élevé. Les résultats ont été obtenus en condition paysanne où les sources non contrôlées d'hétérogénéité sont nombreuses (niveaux variables d'infestation du striga, variabilité des fertilités parcel-laires, diversité des suivis culturels, etc.). En dépit du manque de précision des tests, le facteur variété est significatif. Il a permis de classer statistiquement les moyennes par le test de Newman et Keuls au risque = 0,05 (tableau VI).

La variété Is 15401 a été la moins attaquée de toutes les variétés. Son comportement n'a pas échappé aux paysans qui l'ont considérée résistante au parasite. La variété Miksor 86-25-20 a été du niveau des témoins locaux. Les variétés Cgm 19/9-1-2 et Mipsor 90-30-23 ont été plus sensibles au striga que les autres culti-vars testés et notamment les variétés des paysans.

L'exploitation des données striga sur les tests 1996 a mis en évidence des différences significatives entre les variétés avec les classements suivants (tableaux VII et VIII).

Ces résultats confirment la résistance au striga de Is 15401. Parmi le matériel testé pour la première fois en 1996, Miksor 86-30-41 a eu un comportement meilleur que celui des variétés locales dans la zone nord-soudanienne et proche des variétés locales (essentiellement Seguetana dans la zone sud-souda-nienne). Quant à la lignée Cgm 19/9-1-1, elle appa-

rait aussi sensible au striga que sa lignée soeur testée en 1995 : Cgm 19/9-1-2.

## Maladies foliaires

Des observations ont été conduites en 1996 sur les maladies foliaires observées dans les tests. Il a été dif-ficile de tirer des conclusions de ces observations. Néanmoins, l'antracnose a été la maladie la plus souvent citée.

D'un point de vue variétal, il a été également difficile d'exploiter les données étant donné la diversité des situations et des mesures. Aucune variété n'est cepen-dant apparue comme particulièrement attaquée par les maladies foliaires. En zone nord-soudanienne, Cgm 19/9-1-1 a paru résister à la maladie des taches grises et, en zone sud-soudanienne, Is 15401 s'est distingué par un très faible niveau d'attaque.

## Rendement en grain

### Année 1995

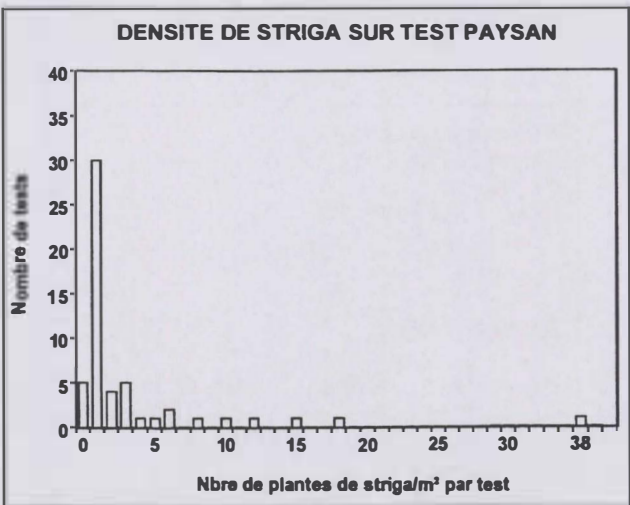
Les tests ont été exploités séparément selon leur ratta-chement aux deux zones grandes climatiques de la zone Cmdt : la zone de climat nord-soudanien (sec-teurs de Kimparana, M'Pessoba et Dioila) et la zone de climat sud-soudanien (secteurs de Koumantou et Kadiolo). Dix-huit tests ont été regroupés pour la zone nord Cmdt et 12 tests pour la zone centre et sud Cmdt.

Dans chaque zone, l'analyse de variance des rende-ments a conclu à un effet significatif des variétés (tableaux IX et X).

Les rendements moyens des tests sur les deux zones ont été assez proches (1 142 kg/ha en zone nord-soudanienne par rapport à 1 024 kg/ha en zone sud-soudanienne). Ils ont été légèrement supérieurs aux rendements paysans sorgho de la Cmdt : 934 kg/ha (Cmdt, 1995).

**Tableau IV.** Importance de la présence du striga (nombre de plantes/m<sup>2</sup>) sur les tests paysans considérés par année et secteur Cmdt d'étude.

Secteur	1995	1996
Kimparana	5,5	3,2
M'Pessoba	4,4	0,6
Diola	0,3	-
Konobougou	-	2,0
Koumantou	0,7	6,7
Kadiolo	manque	0,6



**Figure 3.** Histogramme du nombre de plantes de striga par m<sup>2</sup> observées sur 54 des 60 tests paysans conduits en 1995 et 1996.

**Tableau V.** Analyse de variance de la variable  $\sqrt{\text{nombre de pieds de striga par parcelle}}$  à mi-octobre sur les tests de 1995.

Source de variation	Ddl	Cm	F
Totale	239	58,0	
Variété	4	384,3	54,1 (Hs)
Paysan	23	375,9	52,9 (Hs)
Interaction V. x P.	92	30,7	4,3 (Hs)
Résiduelle	120	7,1	

Moyenne : 5,66

Cv : 47,1 %

Etr : 2,67

**Tableau VI.** Test de moyennes de la variable  $\sqrt{\text{nombre de pieds de striga par parcelle}}$  à mi-octobre sur les tests 1995.

Variétés	$\sqrt{\text{nombre de plantes de striga par parcelle}}$
Cgm 19/9-1-2	8,7 a
Mipsor 90-30-23	7,6 b
Témoins locaux	5,9 c
Miksor 86-25-20	4,7 d
Is 15401	1,4 e

**Tableau VII.** Test de moyennes (ppds au risque  $\alpha = 0,05$ ) de la variable,  $\sqrt{\text{nombre de pieds de striga par parcelle}}$ , à mi-octobre sur les tests 1996, en zone nord-soudanienne.

Variétés	$\sqrt{\text{nombre de plantes de striga par parcelle}}$
Cgm 19/9-1-1	12,5 a
N'ténimissa	9,6 ab
Témoins locaux	8,7 bc
Icsvg 901	7,4 c
Csm 355	6,9 cd
Midsor 88-10-01	5,1 de
Miksor 86-30-41	3,2 e

Moyenne : 7,09 (avec témoin constant Miksor 86-30-41 comptant 2 fois)

F variété : 101,5 (Hs)

Cv : 20,6 %

Etr (ddl = 18) : 1,46

Les résultats aboutissent à un classement très différents des variétés selon les contraintes climatiques propres à chacune des zones. En zone nord-soudanienne, les variétés à floraison plus précoce (comme Cgm 19/9-1-2) ont donné les meilleurs résultats. En zone sud, par contre, Is 15401, variété la plus tardive et la plus productive, a été nettement supérieure aux témoins locaux avec un gain de rendement de 60 %. En zone nord, les variétés n'ont pas été réellement plus productives que les témoins locaux.

Sur l'ensemble des deux zones, la variété Miksor 86-25-20 a montré la plus grande adaptabilité.

**Tableau VIII.** Test de moyennes (ppds au risque  $\alpha = 0,05$ ) de la variable  $\sqrt{\text{nombre de pieds de striga par parcelle}}$ , à mi-octobre sur les tests 1996, en zone sud-soudanienne.

Variétés	$\sqrt{\text{nombre de plantes de striga par parcelle}}$
Csm 485	11,6 a
Mipsor 90-30-23	11,1 a
Foulatieba	8,1 ab
Miksor 86-30-41	5,2 b
Témoins locaux	3,8 bc
Is 15401	2,8 c

Moyenne : 6,84 (avec témoin constant Miksor 86-30-41 comptant 2 fois)

F variété : 30,8 (Hs)

Cv : 34,8 %

Etr (ddl = 12) : 2,38

**Tableau IX.** Rendements variétaux en kg/ha sur les 18 tests 1995 de la zone nord-soudanienne.

Variétés	Rendement moyen	Plus fort rendement	Plus faible rendement
Cgm 19/9-1-2	1 252 a	2 055	429
Témoins locaux	1 237 a	2 224	675
Miksor 86-25-20	1 176 a	1 626	552
Mipsor 90-30-23	903 b	1 515	268
Is 15401*	1 199*	1 725*	790*

\* variété non récoltée sur 5 des 18 tests

Moyenne (sans Is 15401) : 1 142 kg/ha

F variété (sans Is 15401) : 16,3 (HS)

Cv (sans Is 15401) : 21,8 %

Etr (sans Is 15401) (ddl = 72) : 249

**Tableau X.** Rendements variétaux en kg/ha sur les 12 tests 1995 de la zone sud-soudanienne.

Variétés	Rendement moyen	Plus fort rendement	Plus faible rendement
Is 15401	1 481 a	2 316	706
Miksor 86-25-20	1 012 b	2 002	92
Témoins locaux	919 bc	1 756	138
Cgm 19/9-1-2	862 c	1 894	161
Mipsor 90-30-23	857 c	1 495	138

Moyenne : 1 024 kg/ha

F variété : 79,6 (Hs)

Cv : 14,3 %

Etr (ddl = 60) : 146

## Année 1996

Les résultats des analyses statistiques conduites pour les deux zones à partir des tests de 1996 sont présentés dans les tableaux XI et XII.

Les rendements moyens des tests ont été satisfaisants en zone nord et un peu décevants en zone sud en raison, sans doute, d'une insuffisance de pluies en octobre.



**Tableau XI.** Rendements variétaux en kg/ha sur les 18 tests 1996 de la zone nord-soudanienne.

Variétés	Rendement moyen	Plus fort rendement	Plus faible rendement
Miksor 86-30-41	1 533	3 067	537
Cgm 19/9-1-1	1 529	3 067	230
Csm 355	1 469	2 531	537
Mipsor 88-10-01	1 445	2 791	613
Icscv 901	1 334	3 144	0
Témoins locaux	1 286	3 221	399
N'ténimissa	1 059	3 397	0

Moyenne : 1 398 kg/ha (avec témoin constant Miksor 86-30-41 comptant 2 fois)

F variété : 9,8 (Hs)

Cv : 17,4 %

Etr (ddl = 18) : 243

**Tableau XII.** Rendements variétaux en kg/ha sur les 12 tests 1996 de la zone sud-soudanienne.

Variétés	Rendement moyen	Plus fort rendement	Plus faible rendement
Csm 485	994	1 994	268
Is 15401	983	1 687	153
Témoins locaux	944	1 810	153
Miksor 86-30-41	922	1 656	153
Foulatieba	892	2 300	230
Mipsor 90-30-23	565	1 549	77

Moyenne : 889 kg/ha (avec témoin constant Miksor 86-30-41 comptant 2 fois)

F variété : 7,6 (Hs)

Cv : 22,8 %

Etr (ddl = 12) : 203

En zone nord, la plupart des variétés sélectionnées ont surpassé les témoins locaux. Le meilleur résultat a été obtenu par Miksor 86-30-41 avec un rendement moyen de 1 533 kg/ha. La variété Cgm 19/9-1-1 vient immédiatement après. Si nous considérons les résultats par terroir, Cgm 19/9-1-1 a été la plus productive des variétés à Konobougou avec un rendement moyen de 1 486 kg/ha. A Kimparana et M'Pessoba, c'est la variété Icscv 901 qui a donné les meilleurs résultats avec un rendement moyen de 1 716 kg/ha.

En zone sud, à l'exception de Mipsor 90-30-23 qui a été, comme en 1995, peu performante, les cultivars testés ont été proches les uns des autres pour le rendement. La variété Is 15401 s'est bien comportée et confirme son intérêt sans être supérieure aux témoins locaux comme cela l'avait été l'année précédente.

Sur l'ensemble des deux zones, la variété Miksor 86-30-41 a montré la plus large adaptabilité.

Pour la variété Is 15401, testée deux années de suite dans la zone sud, une analyse graphique de sa stabilité de rendement a été réalisée. Pour chaque

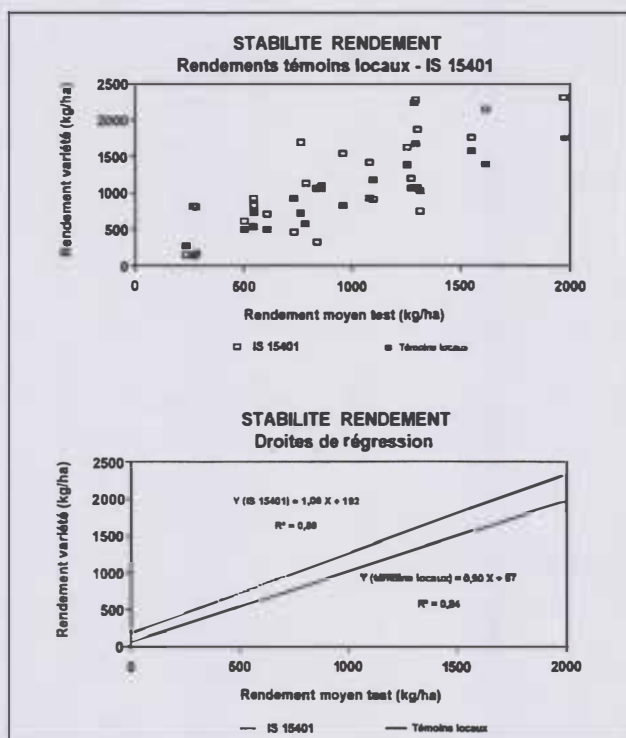
test, le rendement de Is 15401 a été porté en ordonnée, et en abscisse, le rendement moyen des variétés testées avec Is 15401. Vingt quatre couples de points ont été ainsi positionnés. La même opération a été réalisée pour les témoins locaux des 24 tests impliquant Is 15401. Dans chaque cas, la droite de régression avec son coefficient de détermination ont été calculés. Les résultats sont présentés par la figure 4.

Dans l'ensemble, la variété Is 15401 a été plus productive que les témoins locaux comme le montrent sa droite de régression et celle des variétés locales :

$Y$  (rendement Is 15401) = 1,09 X (rendement moyen test) + 192

$Y$  (rendement témoins locaux) = 0,90 (rendement moyen test) + 57

Ce résultat fait valoir une supériorité de Is 15401 aussi bien dans les environnements favorables que défavorables. Toutefois, par rapport à leur droite de régression respective, la dispersion des points de Is 15401 est supérieure à celle des points des variétés locales. Is 15401 apparaît donc un peu moins stable. Ce résultat est à rapprocher de la relative inadaptation de la longueur de son cycle à la durée de la saison des pluies en zone sud Cmdt. Une meilleure stabilité de la variété Is 15401 pourrait être acquise par une utilisation paysanne de cette variété dans des terres à bonne rétention en eau.



**Figure 4.** Analyse de stabilité de rendement de Is 15401 et des témoins locaux.

## Appréciations paysannes

Tout au long du cycle des cultures et, après récolte, au battage ou en test gustatif, l'avis des paysans sur les variétés a été recueilli. Un récapitulatif de

leurs appréciations pour l'année 1995 est présenté en tableau XIII.

Les variétés les plus appréciées en début de culture ont été Miksor 86-25-20 et Mipsor 90-30-23, toutes deux estimées vigoureuses et à croissance rapide.

**Tableau XIII.** Principales observations paysannes sur les variétés testées en 1995.

	Kimparana	M'Pessoba	Dioila	Koumantou	Kadiolo
Miksor 86-25-20	- ressemblance avec les variétés locales ; - pédoncule mal dégagé (plus de temps nécessaire à la récolte).	- bonne vigueur à la levée ; - cycle satisfaisant ; - sensibilité au striga ; - bonne production de grain.	- cycle satisfaisant ; - bonne production de grain.	- bonne vigueur à la levée ; - croissance rapide.	- bon démarrage végétatif ; - sensibilité aux insectes et au striga ; - bonne qualité visuelle du grain.
Mipsor 90-30-23	- longueur appréciée de panicule ; - sensibilité à la verse.	- bonne vigueur à la levée ; - cycle satisfaisant.	- cycle satisfaisant ; - bonne production de grain.	- bonne vigueur à la levée ; - croissance rapide ; - longueur appréciée de panicule.	- bon démarrage végétatif ; - sensibilité aux insectes et au striga ; - longueur appréciée de panicule ; - bonne qualité visuelle du grain.
Cgm 19/9-1-2	- cycle apprécié ; - sensibilité à la verse ; - feuillage trop abondant qui convient mal à la culture associée avec le niébé.	- sensibilité au striga ; - bonne production de grain.	- cycle trop précoce ; - glumes trop recouvrantes.		- sensibilité au striga ; - résistance à la verse ; - médiocre aspect visuel du grain.
Is 15401	- cycle trop long ; - résistance au striga.	- cycle trop long.	- cycle satisfaisant ; - résistance au striga ; - bonne production de grain ; - grosseur des graines.	- bon tallage ; - bonne qualité des grains ; - très bonne qualité gustative.	- résistance au striga ; - cycle apprécié ; - bonne qualité visuelle du grain.

**Tableau XIV.** Principales observations paysannes sur les variétés testées en 1996 en zone nord-soudanienne.

	Kimparana	M'Pessoba	Konobougou
Miksor 86-30-41	- belle panicule ; - résistant à la verse ; - résistant au striga ; - bon pour le tô.	- bonne vigueur à la levée ; - cycle satisfaisant ; - beau grain ; - bonne production de grain.	- bonne variété.
Midsor 88-10-01	- plantule fragile ; - belle panicule avec longueur pouvant porter « malheur » ; - résistant striga ; - résistant à la verse ; - bon pour le tô.	- cycle satisfaisant ; - longue panicule ; - très beau grain ; - très bon tô.	- bonne variété.
Csm 355	- belle panicule ; - résistant à la verse ; - bon pour le tô.	- bonne vigueur à la levée ; - cycle satisfaisant.	- bonne variété.
Cgm 19/9-1-1	- pas très bonne exsertion ; - battage difficile ; - bon tô.	- feuillage abondant ; - sensibilité au striga ; - bonne production de grain ; - battage difficile ; - grain peu apprécié.	- mauvaise couleur du tô.
Icsv 901	- beau feuillage restant vert à maturité, intéressant pour le fourrage ; - mauvais tô ; - bon couscous.	- un peu précoce ; - panicule trop compacte ; - glumes trop courtes ; - bonne production de grain ; - grain peu apprécié.	- cycle trop précoce ; - panicule trop compacte ; - jugé impropre à faire du tô.
N'ténimissa	- verse au stade laitieux ; - battage difficile.	- un peu précoce ; - glumes trop courtes ; - grain peu apprécié.	- cycle trop précoce ; - faible production de grain ; - gros grain.

Pour les cycles, les jugements varient selon les secteurs où les variétés ont été testées. En zone nord, la variété Is 15401 a été jugée trop tardive, alors qu'en zone sud, Cgm 19/9-1-2 a été trouvée trop précoce et attaquée par les oiseaux. Dans l'ensemble, la Miksor 86-25-20 et la Mipsor 90-30-23 ont été considérées comme ayant les cycles les plus satisfaisants.

Certaines particularités morphologiques ont été appréciées par les paysans telles que la grandeur de la panicule chez la Mipsor 90-30-23. D'autres particularités ont été considérées défavorablement comme :

- la mauvaise exsertion de la panicule Miksor 86-25-20 qui demande un temps supplémentaire à la récolte pour extraire la feuille paniculaire ;
- le grand nombre de feuilles de Cgm 19/9-2-1, peu favorable à la culture associée. Il s'agit d'un empilement foliaire lié à la taille raccourcie de la variété qui, elle, n'a pas été signalée comme défavorable par les paysans ;
- les glumes trop couvrantes de Cgm 19/9-2-1.

La sensibilité au striga de Cgm 19/9-2-1 et de Miksor 86-25-20 a été notée par les paysans tout comme la résistance de la Is 15401. La Miksor 86-25-20 a parfois été considérée comme plus particulièrement attaquée par les insectes.

Les variétés Miksor 86-25-20, Mipsor 90-30-23 et Cgm 19/9-2-1 sont jugées les plus productives par les paysans. La variété Is 15401 n'est donnée comme telle que dans le sud.

Pour la qualité du grain, Miksor 86-25-20 et Mipsor 90-30-23 ont été bien acceptées contrairement à la Cgm 19/9-2-1. C'est toutefois la variété Is 15401 qui a rassemblé le plus d'appréciations positives. Les agriculteurs ont souvent été surpris par la grosseur de son grain et aussi par la qualité de son t   quand des tests gustatifs ont pu être faits.

Les commentaires paysans sur les variétés du test 1996 de la zone nord-soudanienne sont rassemblés au tableau XIV.

La variété qui a rassemblé le plus d'opinions positives est Miksor 80-30-41. Les variétés Cgm 19/9-1-1, N'ténimissa et lcsv 901 qui, contrairement aux autres cultivars testés, différents des types locaux habituels rencontrent peu d'avis favorables. Les commentaires paysans sur les variétés du test 1996 de la zone sud-soudanienne sont rassemblés au tableau XV. La variété qui a eu le plus de suffrages est Is 15401. Elle avait déjà eu l'occasion d'être appréciée l'année précédente. Miksor 86-30-41 a été assez apprécié bien que sa relative précocité pour la zone sud soit un handicap.

## Conclusion

Une collaboration entre différents partenaires : lpr, Cmdt et programme conjoint lcrisat/Cirad montre qu'il est possible de faire travailler ensemble l'enseignement supérieur, la recherche et la vulgarisation.

**Tableau XV.** Principales observations paysannes sur les variétés testées en 1996 en zone sud-soudanienne.

	Koumantou	Kadiolo
Miksor 86-30-41	<ul style="list-style-type: none"><li>- bonne vigueur à la levée ;</li><li>- cycle trop précoce ;</li><li>- très bon pour le dolo ;</li><li>- bon pour le t�� ;</li><li>- très bon pour le « gningninkini ».</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- cycle un peu trop précoce ;</li><li>- belle panicule ;</li><li>- beau grain.</li></ul>
Mipsor 90-30-23	<ul style="list-style-type: none"><li>- bonne vigueur à la levée ;</li><li>- cycle trop précoce ;</li><li>- bon pour le t��.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- cycle un peu trop précoce ;</li><li>- belle panicule ;</li><li>- beau grain.</li></ul>
Csm 485	<ul style="list-style-type: none"><li>- bonne productivité ;</li><li>- bon pour le t��.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- grande sensibilité au striga</li><li>- belle panicule.</li></ul>
Is 15401	<ul style="list-style-type: none"><li>- bonne vigueur à la levée ;</li><li>- résistant à la sécheresse ;</li><li>- résistant au striga ;</li><li>- gros grain ;</li><li>- très bon pour le dolo ;</li><li>- bon pour le t�� ;</li><li>- bon pour le couscous.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- bonne vigueur à la levée ;</li><li>- résistant au striga ;</li><li>- gros grain ;</li><li>- t�� tendant à prendre une coloration rouge.</li></ul>
Foulatieba	<ul style="list-style-type: none"><li>- résistant à la verse ;</li><li>- croissance rapide ;</li><li>- bonne productivité.</li></ul>	



Grâce à cette collaboration, un important travail d'évaluation de nouvelles variétés sélectionnées de sorgho essentiellement à base de guinea a été réalisé chez des paysans élités de la zone Cmdt. Pour ceux-ci, de nombreux caractères variétaux sont importants comme la vigueur végétative, le bon cycle qui valide l'absence d'attaques d'oiseaux, la résistance au striga, la facilité de récolte, la qualité visuelle du grain, l'aptitude au battage, la qualité organoleptique. La production est prise en compte mais pas de façon prioritaire.

Compte tenu de leur origine locale, la plupart des variétés sélectionnées expérimentées en milieu paysan, ont intéressé les cultivateurs. Souvent, elles ont répondu à leur attente avec des rendements supérieurs aux variétés locales. Cependant des différences dans leur sensibilité à la photopériode et dans leur résistance aux parasites, notamment au striga, expliquent des différences adaptatives vis-à-vis des secteurs Cmdt où les tests ont été implantés. Aussi, il est peu concevable de vouloir vulgariser uniformément un seul et même cultivar. Les résultats variétaux obtenus montrent que deux variétés présentent un intérêt plus particulier : Miksor 86-30-41 en zone nord-soudanaïenne et Is 15401 en zone sud-soudanaïenne. Des exemples de diffusion paysanne spontanée de cette variété ont été observés. Ils valident les choix variétaux et la démarche suivie pour les faire connaître.

## Références bibliographiques

BAKARY F., 1995. Etude du comportement et des possibilités d'introduction de nouvelles variétés de sorghos photosensibles en zone Cmdt dans le secteur de M'Pessoba. Mémoire de fin d'étude Ipr (Institut polytechnique rural) de Katibougou, Mali, 39 p.

BAMADIO B., 1996. Etude du comportement et des possibilités d'introduction de nouvelles variétés de sorghos photosensibles en zone Cmdt dans le secteur de Kadiolo territoire de Dioumatène. Mémoire de fin d'étude Ipr (Institut polytechnique rural) de Katibougou, Mali, 49 p.

DEMBELE K., 1995. Etude du comportement et des possibilités d'introduction de nouvelles variétés de sorghos photosensibles en zone Cmdt dans le secteur de Kimparana. Mémoire de fin d'étude Ipr (Institut polytechnique rural) de Katibougou, Mali, 37 p.

DICKO D., 1995. Etude du comportement et des possibilités d'introduction de nouvelles variétés de sorghos photosensibles en zone Cmdt dans le secteur de Kadiolo. Mémoire de fin d'étude Ipr de Katibougou, Mali, 37 p.

GIRAUDY F., 1995. Annuaire statistique 94/95 - Résultats de l'enquête agricole permanente. Cmdt/Dpcc, Bamako, Mali, 14 p.

KAMATE A., 1996. Etude du comportement et des possibilités d'introduction de nouvelles variétés de sorghos photosensibles en zone Cmdt dans le secteur de Kimparana. Mémoire de fin d'étude Ipr de Katibougou, Mali, 42 p.

MAÏGA A., 1996. Etude du comportement et des possibilités d'introduction de nouvelles variétés de sorghos photosensibles en zone Cmdt dans le secteur de M'Pessoba. Mémoire de fin d'étude Ipr de Katibougou, Mali, 39 p.

OUMAR I., 1995. Etude du comportement et des possibilités d'introduction de nouvelles variétés de sorghos photosensibles en zone Cmdt dans le secteur de Koumantou. Mémoire de fin d'étude Ipr de Katibougou, Mali, 35 p.

SANAGO O., 1996. Etude du comportement et des possibilités d'introduction de nouvelles variétés de sorghos photosensibles en zone Cmdt dans le secteur de Koumantou. Mémoire de fin d'étude Ipr de Katibougou, Mali, 44 p.

SANGARE D., 1996. . Etude du comportement et des possibilités d'introduction de nouvelles variétés de sorghos photosensibles en zone Cmdt dans le secteur de Konobougou. Mémoire de fin d'étude Ipr de Katibougou, Mali, 40 p.

TRAORE S., 1995. Etude du comportement et des possibilités d'introduction de nouvelles variétés de sorghos photosensibles en zone Cmdt dans le secteur de Dioïla. Mémoire de fin d'étude Ipr de Katibougou, Mali, 55 p.

OUATTARA M., VAKSMANN M., REYNIERS F.N., NIANGADO O., KOURESSY M., 1997. Diversité phénologique des sorghos du Mali et adaptation à la diversité des agro-systèmes - Mise en valeur d'un savoir. Rencontre internationale « Gestion des ressources génétiques des plantes de savanes, 21-28 février 1997, Bamako, Mali , p. 73-84.

# Potential of sorghum hybrids in West and Central Africa

D.S. MURTY

Icrisat (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics), BP 320, Bamako, Mali

R. TABO

Icrisat (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics), PMB 3491, Kano, Nigeria

**Abstract** — Regional trials conducted in West and Central Africa (Wca) during 1986-1995 showed that sorghum hybrids had higher grain yields (38% yield advantage) and stability than pure line varieties. Regression analysis of yield showed that the selected hybrids maintained their yield superiority consistently across low and high yielding environments over years. There is a scope for further improvement of hybrids adapted to Wca through breeding male and female parents with Wca germplasm. In agronomic studies conducted during 1990-1992 across three different agroecological zones, hybrids exhibited, on average, grain yield advantage of 28 to 60% over the pure line variety and had higher harvest indices. Hybrids such as Icsh 89002 Ng, Icsh 89009 Ng, and Icsh 507 responded more to increased nitrogen and plant density than pure line varieties. These hybrids performed well also when intercropped with legumes such as groundnut, cowpea, soybean and pigeonpea. On-farm tests in collaboration with national programs in Wca gave encouraging results, but more detailed studies in conjunction with Integrated Pest Management (Ipm) practices are required. In order to ensure that the hybrid technology is adopted by farmers in this region, thereby increasing sorghum productivity, there is a need to establish commercial production of hybrid seeds and to enhance the availability of other inputs, particularly fertilizer.

**Résumé** — Les potentialités des sorghos hybrides en Afrique de l'Ouest et du Centre. Les essais régionaux conduits en Afrique de l'Ouest et du Centre durant les années 1986-1995 ont montré que les hybrides de sorgho ont un rendement et une stabilité du rendement supérieurs aux lignées fixées. Une analyse de régression de rendement a également montré que les hybrides sélectionnés ont maintenu leur supériorité de rendement sur plusieurs années et sous différentes conditions d'environnement. Des possibilités d'amélioration d'hybrides adaptés à l'Afrique de l'Ouest et du Centre sont envisageables par la sélection de parents mâles et femelles avec le germoplasme ouest et centrafricain. Au cours des études agronomiques, conduites de 1990 à 1992 dans trois zones écologiques différentes, les hybrides ont présenté des index de récolte meilleurs et des rendements moyens de 28 à 60 % supérieurs aux lignées pures. Les hybrides tels que Icsh 89002

Ng, Icsh 89009 Ng et Icsh 507 fournissent une meilleure réponse à un apport d'azote et à une densité élevées que les variétés pures. Ils sont également bien adaptés aux associations culturales (avec des légumineuses telles que arachide, niébé, soja ou pois d'Angole). Les résultats des tests en milieu paysan, menés en collaboration avec les instituts nationaux, sont encourageants mais des études en liaison avec les programmes de lutte intégrée doivent être poursuivies. Pour favoriser l'adoption par les paysans de ces nouvelles variétés et par conséquent accroître la productivité du sorgho, il est nécessaire d'organiser la production commerciale de semences et de faciliter l'accès aux intrants et en particulier des fertilisants.

Sorghum productivity in West and Central Africa (Wca) has remained well below 1 t/ha compared to 4 to 5 t/ha in North America and Europe for the last three decades (Icrisat/Fao 1996). The reason for this large difference is essentially the degree of commercialization and adoption of new technologies. One important factor underlying sorghum yield increases in the developed as well as developing countries such as Usa and Mexico is the adoption of hybrids. However in Wca, most of the sorghum is produced on small farms using land races, sometimes intercropped, and frequently in areas where soil fertility is low and rainfall distribution is poor.

The advantages and stability of sorghum hybrids over pure line varieties even in bad years in eastern Africa has been documented (Doggett, 1988). In Wca, studies on sorghum hybrids conducted by Andrews (1975), ChanterEAU (1983) and Kaplan (1988) showed the high potential of hybrids, but the need for more intensive studies across a wide range of environments in comparison with varieties and an evaluation of suitable cropping and management systems for hybrids was recognized. Currently, there are only a few national programs in Wca engaged in



hybrid evaluation: Niger, Nigeria and Burkina Faso. Recently hybrids have been formally released in Nigeria and Niger and it is too early to assess their impact. Icrisat has been experimenting with sorghum hybrids in Wca since 1986 in collaboration with the national programs as well as the West and Central Africa sorghum research network (Wcasrn).

There were several objectives of these experiments with sorghum hybrids:

- to evaluate the productivity and stability of hybrids in comparison with both improved and local varieties;
- to identify suitable female (Cms) and male parents among those available from various sources;
- to quantify the heterotic response of the hybrids over parents;
- to assess the total dry matter partitioning in hybrids compared to improved varieties and local land races;
- to determine the optimum plant density and fertility levels for hybrids in comparison with varieties;
- to investigate the suitability of hybrids in the intercropping systems with legumes.

The following sections summarize the important results obtained in some of the experiments conducted over the last ten years.

### Hybrid yield superiority

Ten to 30 hybrids were evaluated in the West African sorghum hybrid adaptation trials (Washat) at 6 to 13 locations each year during 1986-1995 using improved varieties as well as local controls. Average grain yield of the top ranking hybrids across locations in the 87 tests was 3.59 t/ha which was 38% superior to the best variety control average (2.60 t/ha, table I). The local controls, which were frequently late maturing (and variable across locations), were the poorest yielders in all the years. Grain yields of the best

hybrids in individual tests were as high as 6 t/ha in some years. Regression analyses of the multilocal data each year and across years for some selected hybrids showed that hybrids such as Icsh 507 (Icsh 38 x Mr 926) maintained their yield superiority consistently across low and high yielding environments in all the years. Encouraging results were also obtained in farmers' managed on-farm trials in Kano and Jigawa states in northern Nigeria during 1991 and 1992. Average grain yields from 21 trials grown in these two states ranged from 1.24 to 1.35 t/ha for hybrids as compared to 1.07 t/ha for the farmers' variety. Similar work is in progress in Burkina Faso and Mali in cooperation with the Institut national d'études et de recherche agricoles (Inera) and la Compagnie malienne pour le développement des textiles (Cmdt), respectively.

### Hybrid parents

A range of female (A1 Cms) and male parents bred at Icrisat Asia Center and also several from Texas A & M University were evaluated over the years in Nigeria, Mali and Burkina Faso. Important female parents identified include Icsh/B 38, Icsh/B 39, Icsh/B 41, Icsh/B 42, Tx A/B 631, Tx A/B 8606, etc. All these are of exotic and zerazera origin and have good grain quality and adequate levels of disease resistance. Similarly the male parents in use are also of zerazera origin. Currently available elite hybrids in Wca are thus based on parents bred elsewhere but found to be acceptable in Wca. However, hybrids based on exotic x Wca local derived parents could exhibit improved local adaptation and advantage and are therefore required in the future. Moreover, the exotic parents are all early maturing (< 75 days to 50% flowering) and there is a need to diversify the range of maturity among hybrid parents to enable production of hybrids required in higher rainfall zones.

**Table I.** Mean grain yields (t/ha) of top ranking hybrids and variety controls in West African sorghum hybrid adaptation trials (Washat), 1986-1995.

Year	Locations n°	Hybrid	Mean yield	Variety	Mean yield
1986	12	Icsh 143	3.22	Framida	2.43
1987	10	Icsh 643	2.97	Framida	1.77
1988	7	Icsh 507	3.31	Icvs 111	2.56
1989	8	Icsh 507	3.66	Icvs 111	2.97
1990	8	Icsh 89002 Ng	3.71	Icvs 111	2.08
1991	13	Icsh 89009 Ng	3.40	Icvs 111	2.70
1992	6	Icsh 89009 Ng	4.34	Icvs 111	3.02
1993	8	Icsh 507	4.30	Icvs 111	3.12
1994	8	Icsh 89009 Ng	3.46	Icvs 111	2.70
1995	7	Icsh 507	3.56	Icvs 111	2.63
Mean		Hybrid	3.59	Variety	2.60



## Heterosis

Male and female parents of three hybrids along with their corresponding hybrids and three pure line varieties including the local control were evaluated for their phenological and yield performance in a replicated trial at Bagauda in 1992. On the average, the hybrids outyielded their male parents by 26% and their female parents by 53%. The hybrids produced an average total dry matter of 13.41 t/ha which was 9% higher than that of the male parents and 26% higher than that of the female parents. The hybrids yielded 6.60 t/ha of grain as compared to 5.23 and 4.29 t/ha for their male and female parents, respectively.

## Harvest index

Agronomic experiments conducted at Bagauda in 1990 showed that under terminal drought the harvest index of the sorghum hybrid Icsh 507 was superior to 26 land races included in the study under all the 5 planting dates (commencing with the rainy season) and the hybrid outyielded the local races (Icrisat, 1991).

Two sorghum hybrids (Icsh 507 and Icsh 89002 Ng) were studied in comparison with an early maturing variety (Icvs 247) and a late maturing local variety (Samsorgh 14) for their performance in replicated experiments conducted in the rainy season over five years at Bagauda, Nigeria (table II). The average harvest index (Hi) of the hybrids was 0.39 to 0.41 while that of the early maturing variety was 0.34 compared to 0.18 for the late maturing local control. The early maturing hybrid, Icsh 89002 Ng produced an average of 10.86 t/ha of total dry matter as compared to 12.36 t/ha of the late maturing local variety. The average grain yield of the hybrid was 4.20 t/ha while that of the local variety was 2.23 t/ha.

## Plant density and nitrogen

Field trials were conducted at (Bagauda, Minjibir and Samaru) in northern Nigeria to evaluate the performance of three hybrids (Icsh 507, Icsh 89002 Ng, and Icsh 89009 Ng) in comparison with a late maturing control variety (Samsorgh 14) at two plant densities (5.3 and 10.6 plants/m<sup>2</sup>) and four nitrogen levels (0, 45, 90 and 135 kg N/ha). The hybrids exhibited, on average, grain yield advantage of 28 to 60% over the check variety which produced more total dry matter and larger grains than the hybrids. Cultivar response to plant density and nitrogen level varied from year to year and was influenced by rainfall. In wet years, optimal density was 10.6 plants/m<sup>2</sup> but in dry years it was 5.3 plants/m<sup>2</sup>. Maximum grain yields were obtained at 90 kg N/ha (Icrisat, 1991, 1992, 1993). Similar studies were done at Samanko, Mali during 1996 and the same trends were obtained.

## Intercropping systems

Intercrop experiments involving sorghum hybrids with legumes such as groundnut, cowpea, soybean and pigeonpea were conducted at Bagauda, Nigeria during 1990 to 1993 (Icrisat, 1991; 1992; 1993; 1994). The hybrids performed as well or better than the early maturing pure line variety and the late maturing local variety as indicated by their higher grain yields. Land equivalent ratios were also found greater with hybrids in these intercropping systems than with pure line varieties.

## Integrated pest management practices

Grain quality of sorghum hybrids can be affected by head bugs (*Eurystylus oldi*) in some seasons and

**Table II.** Mean grain yield (t/ha), total dry matter (t/ha) and harvest index of sorghum cultivars observed at Bagauda, Nigeria 1989-1993<sup>(1)</sup>.

Cultivar	Time to 50% flowering (d.)	Grain yield	Total dry matter	Harvest Index
Icvs 247	71	3.37	9.86	0.34
Samsorgh-14 (Local control)	93	2.23	12.36	0.18
Icsh 507	65	4.37	10.56	0.41
Icsh 89002 NG	71	4.20	10.86	0.39

<sup>(1)</sup>Based on agronomic experimental data averaged over five years for Icvs 247 and Samsorgh-14 and over four years for Icsh 507 and Icsh 89002 Ng.

locations. We evaluated the performance of a hybrid, ICSH 89009 Ng and two pure line varieties including a local variety (Gaya early) under unprotected and protected conditions at two dates of planting and two nitrogen levels during 1995 and 1996 at Bagauda and Samaru, Nigeria. The hybrid outyielded the varieties under protected as well as unprotected conditions. On farm studies on the population dynamics of *E. oldi* in hybrid sorghum are under way.

## Conclusions

The superior performance of sorghum hybrids over pure line varieties was demonstrated in various trials conducted over years and across different agroecological zones in West and Central Africa. Overall, the grain yield advantage of the hybrids over the pure line varieties ranged from 28 to 60%. The hybrids had higher harvest indices and were more responsive to increased plant density and nitrogen level than varieties. The hybrids performed well in intercropping systems involving legumes such as groundnut, cowpea, soybean and pigeonpea. The potential of the hybrids could be better exploited in the Sudanian zones (600 - 1 000 mm rainfall) and more specifically in the Sofitex or Cmdt areas in Burkina Faso and Mali where the residual fertilizers applied to cotton are available for exploitation. On-farm studies, in collaboration with the Nars partners, are needed to gather additional information on the performance of these hybrids under the farmers' levels of management and taking into account various integrated pest management practices. Seed

availability is crucial to sorghum hybrid production and it is therefore essential to establish good hybrid seed production and distribution infrastructures. Other inputs such as fertilizer also should be made available to the farmers to ensure that the potential of the hybrids is fully exploited.

## References

- ANDREWS D. J., 1975. Sorghum grain hybrids in Nigeria. *Experimental Agriculture* 11: 119-127.
- CHANTEREAU J., 1983. Sélection d'hybrides de sorgho pour le Centre-nord et le nord du Sénégal. *L'Agronomie Tropicale* 38 (4) : 295-302.
- DOGGETT H., 1988. Sorghum, 2nd edition. Tropical Agriculture series. Harlow, U.K. Longman, 512 p.
- ICRISAT, 1991. Icrisat West African Programs Annual Report 1991. Niger, Icrisat Sahelian center.
- ICRISAT, 1992. Icrisat West African Programs Annual Report 1992, Niger, Icrisat Sahelian center.
- ICRISAT, 1993. Icrisat West African Programs Annual Report 1993, Niger, Icrisat Sahelian center.
- ICRISAT 1994. Icrisat West African Programs Annual Report 1994, Niger, Icrisat Sahelian center.
- ICRISAT/FAO, 1996. The world sorghum and millet economies. Facts, trends and outlook. Icrisat, India, 68 p.
- KAPRAN I., 1988. Evaluation of the agronomic performance and food quality characteristics of experimental sorghum hybrids in Niger, West Africa. M Sc. Thesis, Purdue University, Indiana, United-States.

# Evaluation de l'impact des recherches variétales de sorgho et de mil en Afrique de l'Ouest et du Centre

A. M. YAPI

Icrisat, BP 320, Bamako, Mali

S. K. DEBRAH

Ifdc, International Fertilizer Development Center-Africa, BP 4483, Lomé, Togo

**Résumé** — Deux études de cas ont permis à la composante socio-économie du programme conjoint sur le sorgho Icrisat/Cirad d'évaluer l'impact des recherches variétales de mil et de sorgho en Afrique de l'Ouest et du Centre : cas de la lignée sélectionnée de sorgho S 35 au Cameroun et au Tchad et cas des variétés de mil et sorgho proposées à la vulgarisation au Mali. Obtenus à partir d'enquêtes auprès des paysans, les résultats montrent que la variété S 35 a connu un succès significatif avec des taux d'adoption qui ont progressé entre 1990 et 1995 de 7 à 27 %, au Tchad, et de 24 à 32 %, au Cameroun. Au Mali, l'adoption des variétés recommandées par la recherche est moins avancée, quoique en progression ces dernières années. Ainsi, les taux d'adoption des variétés locales paysannes améliorées de sorgho et de mil sont respectivement passés de 15 à 22 % et 10 à 15 % entre 1990 et 1995. Pour la même période, les taux d'utilisation des créations variétales sorgho et mil des programmes de sélection sont respectivement passés de 4 à 8 % et de 7 à 19 %. L'adoption, ou non, des variétés par les paysans dépend des caractéristiques variétales, des connaissances paysannes, des services de vulgarisation et semenciers et des contextes économiques. Une évaluation de l'impact agro-économique de l'adoption variétale fait valoir, dans les cas étudiés, des bénéfices nets actualisés se chiffrant en millions de dollars. En conclusion, des recommandations sont faites pour un meilleur impact des produits variétaux de la recherche en milieu rural.

**Abstract** — **Impact assessment of sorghum and millet improved varieties in West and Central Africa.** Two socio-economic studies were conducted by the Joint Sorghum Program of ICRISAT/CIRAD to assess the impact of sorghum and millet genetic improvement research in West and Central Africa. These were: 1) study of the sorghum variety S35 in Cameroon and Chad, and 2) study of the improved varieties of sorghum and pearl millet in Mali. Results obtained from samples of farm holding and surveys among farmers showed that the variety S35 was significantly successful with the rate of farmer adoption increasing from 7 to 27% in Chad and from 24% to 32% in Cameroon in between 1990 and 1995. In Mali, the acceptance of varieties recommended by research is less advanced

although it is increasing recently. The adoption rates of the improved local varieties of sorghum increased from 15 to 22%, and for improved local varieties of millet from 10 to 15% in between 1990 and 1995. At the same time, the adoption rates of varieties developed by breeding programs increased for sorghum from 4 to 8%, and for pearl millet from 7 to 19%. The factors affecting varietal acceptance or refusal by farmers include: varietal characteristics, farmer information, extension and seed services, and economic contexts. In the two studies, the economic impact of the varietal adoption was estimated at several million dollars. The paper provides recommendations to achieve a better impact of the varietal research in the West and Central Africa rural environment.

L'importance du sorgho et du mil dans l'alimentation des populations des zones tropicales semi-arides de l'Afrique de l'Ouest et du Centre n'est plus à démontrer. Ces deux céréales jouent un rôle essentiel de sécurité alimentaire dans les systèmes de consommation de la sous-région. Au Tchad, le sorgho et le mil pénicillaire constituent l'essentiel de la consommation céréalière des populations, avec une consommation annuelle par habitant de 120 kg, soit six fois celle du maïs et douze fois celle du riz.

Afin d'accroître la productivité des céréales de base et assurer la sécurité alimentaire des populations, d'importants programmes, conduits en collaboration étroite entre les institutions nationales et internationales, ont été engagés sur l'amélioration des cultures traditionnelles.

Cette communication présente les résultats de trois évaluations sur l'impact en milieu paysan des résultats de recherches variétales sur le sorgho et de mil. Ces études ont été conduites par les chercheurs de l'Icrisat en collaboration avec les chercheurs de l'Institut de recherche agronomique (Ira) au Cameroun,



de la direction de la recherche pour la technologie agricole (Drta), au Tchad, et de l'Institut d'économie rurale (Ier) au Mali. Au Cameroun et au Tchad, l'évaluation a porté sur une variété de sorgho développée par l'Icrisat-Inde la S-35, et diffusée au Cameroun (entre 1982 et 1986) et au Tchad (entre 1986 et 1989). Cette variété, de type caudatum à cycle court (96-106 jours du semis à la maturité), est très productive et assez tolérante à la sécheresse. Au Mali, l'étude d'impact a concerné toutes les variétés améliorées de mil et de sorgho cultivées par les paysans et issues d'une recherche Ier/Icrisat/Cirad-ca.

Pour évaluer le niveau d'adoption des variétés améliorées en milieu paysan, des enquêtes ont été menées au Tchad, dans les régions du Guéra, Mayo-Kebbi et Chari-Baguirmi, au Cameroun, dans les zones du Diamarre, du Mayo-Sava et du Mayo-Danay et au Mali, dans les régions de Mopti, Ségou et Koulikoro. La méthode adoptée s'est appuyée sur une approche systématique d'échantillonnage à étapes multiples — région représentative des variétés diffusées, tirages aléatoires de sous-régions, de villages et de paysans — et des enquêtes formelles avec questionnaires structurés à multiples modules. Des échantillons de 152, 570, 600 paysans ont été choisis

au hasard, respectivement au Tchad, Cameroun et Mali.

## L'adoption des nouvelles variétés

### Difficultés d'identification des nouvelles variétés au Mali

Au Mali, les variétés améliorées de sorgho et de mil actuellement recensées par les enquêtes paysannes dans les zones d'étude sont présentées dans les tableaux I et II.

D'importantes difficultés ont été rencontrées dans la détermination de ce qu'est une variété améliorée pour le paysan. Pour certains paysans, une variété traditionnelle qui provient d'une autre communauté est souvent considérée comme nouvelle donc améliorée. Par ailleurs, les variétés, même issues de la recherche, sont souvent connues sous des noms vernaculaires qui varient d'un village à l'autre et d'un

**Tableau I.** Caractéristiques des variétés améliorées de sorgho recensées au Mali.

Variétés	Origine	Date vulgarisée	Cycle (semi-maturité) (jours)	Hauteur de plante (cm)	Aire/zones de culture (mm)	Rendement en grain (t/ha)	Caractéristiques particulières
Tiémaring (Guinea)	Mali	1973	120-130	350-450	800-1 000	2,5-3,0 station ; 1,5-2,0 paysan	Photosensible, assez résistante aux moisissures des grains et au charbon allongé. Bonne qualité du tô.
Séguétana (Guinea)	Mali	1973	120-125	350-450	600-800	1,5-2,0 station	Très bonne résistance au striga.
Csm 388 (Guinea)	Mali	1985	120-130	350-370	700-1 100	1,5-2,5 station	Résistante aux maladies foliaires et au charbon. Très bon tô.
Csm 219 (Guinea)	Mali	1986	100-106	210	400-800	2,0-2,5 station ; 1,5-2,0 paysan	Résistante aux maladies foliaires et au charbon. Très bon tô.
Csm 63-E (Guinea)	Mali	1986	100-105	210	300-800	2,0-2,5 station ; 1,5-2,0 paysan	Résistante maladies foliaires et charbon. Très bon tô.
Ce 151 (Caudatum)	Sénégal	1985	90-95	110	300-800	2,0-2,5 station ; 1,5-2,0 paysan	Bonne résistance au charbon allongé. Tô inconsistant.
Icsv 1063 Bf (Caudatum)	Icrisat	1989	105-110	180-200	600-800	3,0-3,5 station ; 1,5-2,0 paysan	Peu photosensible, tolérante aux insectes et aux maladies
Icsv 1079 Bf (Caudatum)	Icrisat	1989	100-105	180-200	600-800	3,0-3,5 station ; 1,5-2,0 paysan	Peu photosensible, tolérante aux insectes, aux maladies et à la sécheresse.

**Tableau II.** Caractéristiques des variétés améliorées de mil recensées au Mali.

Variétés	Origine	Date vulgarisée	Cycle (semi-maturité) (jours)	Hauteur de plante (cm)	Aire/zones de culture (mm)	Rendement en grain (t/ha)	Caractéristiques particulières
Nkk	Mali	1973	100-110	250-300	450-650	2,0-2,5 station	Photosensible, assez résistante à la sécheresse, au mildiou et au charbon.
Hkp	Niger	1985	80-90 (50 % floraison)	190-200	300-800	1,5-2,5 station	Résistante au mildiou, au charbon mais sensible aux chenilles des chandelles. Le tô est très bon.
Icmv 8001	Icrisat - Bambey Sénégal	1985	75-85 (50 % floraison)	225-300	300-800	1,5-2,5 station	Résistante au mildiou et au charbon allongé. Très bon tô.
Sosat	Mali	1989	80-85 (50 % floraison)	180-250	300-600	1,5-2,5 station	Résistante au mildiou. Très productive, avec rendement stable.
Toroniou	Mali	1986	105-110	250-300	400-800	1,5-2,0 station	Très bonne résistance aux foreurs de tige.
Benkadiniou	Mali	1989	80 (50 % floraison)	250-300	700-900	1,8-2,5 station	Résistante au mildiou, au charbon allongé et aux chenilles des chandelles. Bon tô.
Mangakolo	Mali	1990	70-75 (50 % floraison)	250-300	400-800	1,5-2,0 station	Tolérante au mildiou, au charbon, et aux chenilles des chandelles. Bon tô.
Guéfoué 16	Mali	1992	70-75 (50 % floraison)	250-300	400-800	1,5-2,0 station	Photosensible, tolérante au mildiou, au charbon allongé et aux chenilles des chandelles.

Source : Résultats d'enquêtes en milieu paysan ; Dembélé et Sidibé (1988) ; Mdr-Ier-Crra/Niono (1993). Communications personnelles avec O. Niangado (Ier).

paysan à l'autre. Les variétés introduites portent le plus souvent le nom de l'introducteur, comme la variété Csm 388 aussi connue sous le nom de *Faognon*, en référence à l'action de la Fao dans la production des semences de cette variété prometteuse, ou la variété Icsv 1063 Bf, connue en milieu paysan, sous le nom de *Monpèregnon* en rappel de l'action du prêtre qui fut à l'origine de l'introduction de la variété. Pour résoudre ce problème d'identification des variétés, il a été nécessaire de faire appel aux sélectionneurs et aux vulgarisateurs avertis.

Ainsi, seules les variétés dont l'amélioration a été confirmée, soit par les sélectionneurs, soit par les vulgarisateurs ont été retenues dans la détermination des taux d'adoption et dans les calculs économiques.

## Les taux d'adoption

Les enquêtes en milieu paysan dans chacun des trois pays étudiés ont permis d'estimer des taux d'adoption des variétés améliorées. Ces taux ont été calculés en divisant la superficie emblavée pour la variété considérée par la superficie totale de la culture. Pour la variété S-35, par exemple, les taux d'adoption correspondent à la superficie emblavée en S-35 par rapport

à la superficie totale de sorgho pluvial de la région ou du pays de référence.

Les taux d'adoption ainsi calculés pour le Mali sont présentés dans les tableaux III et IV, en fonction du type de sélection variétale, en distinguant deux groupes de matériels : (a) le groupe 1, constitué par des variétés locales triées et améliorées, (b) le groupe 2 comprenant des créations variétales impliquant du germoplasme étranger. Les taux d'adoption des variétés améliorées de mil et de sorgho sont importants. Ils atteignaient 30 % pour le sorgho et 33 % pour le mil en 1995, alors qu'ils étaient estimés seulement à 5 % en 1985 (Matlon, 1985). La plupart des variétés de sorgho et de mil adoptées au Mali sont des variétés améliorées issues de variétés locales. À l'exception des variétés Ce 151, Icsv 1063 Bf et Icsv 1079 Bf, toutes les variétés améliorées de sorgho adoptées par les paysans sont de type Guinea (tableau II). Cette préférence pour les variétés locales tient, d'une part, à leur grande rusticité et à leur adaptabilité à l'environnement de la région, et d'autre part, à leur qualité organoleptique appréciée et connue des paysans. Au Mali, on observe également, en milieu paysan, l'émergence de variétés de type caudatum en raison de leur plus grande productivité et de leur cycle court qui permet aux paysans de s'adapter à une sécheresse de plus en plus persistante dans cette zone.

**Tableau III.** Taux d'adoption des variétés améliorées de sorgho par groupes au Mali, 1990-1995.

Année	Région de Mopti <sup>(1)</sup>		Région de Segou <sup>(2)</sup>		Région Koulikoro <sup>(3)</sup>		Ensemble 3 zones	
	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 1	Groupe 2
1995	23	0	23	6	21	9	22,4	7,8
1994	20	0	18	3	19	7	19,1	5,8
1993	19	0	15	3	19	5	18,0	4,2
1992	19	0	13	2	18	5	17,0	4,1
1991	16	0	13	2	18	5	15,8	4,1
1990	14	0	14	0	16	4	14,9	4,0

Source : résultats d'enquêtes en milieu paysan, 1995.

<sup>(1)</sup>Groupe 1 : Csm 63-E ; Csm 219 ; Csm 388.

<sup>(2)</sup>Groupe 1 : Tiemarifing ; Csm 219 ; Csm 388. Groupe 2 : Ce 151

<sup>(3)</sup>Groupe 1 : Tiemarifing ; Sèguètana ; Csm 388. Groupe 2 : Ce 151 ; lcsv 1063 Bf ; lcsv 1079 Bf.

**Tableau IV.** Taux d'adoption des variétés améliorées de mil par groupes au Mali, 1990-1995.

Année	Région de Mopti		Région de Segou		Région Koulikoro		Ensemble 3 zones	
	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 1	Groupe 2
1995	9	8	5	24	20	17	14,9	19,0
1994	8	7	5	19	18	12	13,3	14,6
1993	8	7	3	16	16	12	12,2	12,8
1992	7	6	3	12	15	9	11,3	9,7
1991	6	6	4	10	15	4	11,1	7,6
1990	4	6	4	9	13	4	9,6	7,0
Groupe 1 : Hkp, Nkk			Nkk		Nkk			
Groupe 2 : Sosat, Toroniou, Benkadiniou, lcmv 8001			Sosat, Toroniou, Benkadiniou		Mangakolo, Guéfoué			

Source : données d'enquêtes en milieu paysan, 1995.

Les taux d'adoption de la variété de sorgho S-35 au Tchad et au Cameroun, consignés dans le tableau V, sont assez significatifs. Ils ont progressé entre 1990 et 1995, de 7 % à 27 % (au Tchad) et de 24% à 32% (au Cameroun). Les taux d'adoption supérieurs au Cameroun s'expliquent d'une part, du fait que l'introduction et la vulgarisation de la variété S-35 y sont plus anciennes, son adoption a commencé en 1986 alors que la variété ne se diffuse au Tchad que depuis 1990 ; d'autre part, le Cameroun, de part la proximité du Nigeria, peut accéder aux fertilisants chimiques à des prix relativement bas, ce qui permet d'améliorer la fertilité des sols, et facilite la culture et l'adoption de S-35. Il faut ajouter, par ailleurs, que l'aire de culture de cette variété correspond à la zone cotonnière ; la culture du sorgho peut donc de surcroît bénéficier de l'arrière effet de la fertilisation du coton.

## Les perceptions paysannes sur les variétés améliorées

Les enquêtes en milieu paysan ont permis non seulement d'estimer les taux d'adoption des variétés améliorées, mais aussi de recueillir les perceptions paysannes sur ces nouvelles variétés.

## Les raisons d'adoption des nouvelles variétés

Le tableau VI présente les raisons principales citées par les paysans pour l'adoption des variétés améliorées. La précocité, la productivité et la qualité alimentaire des nouvelles variétés semblent être les caractéristiques les plus intéressantes pour les paysans. Le choix du caractère précocité est lié aux conditions agro-climatiques de plus en plus sévères qui ne permettent plus aux variétés locales à cycle long d'achever leur cycle végétatif avant la fin de la saison des pluies. Une plus grande productivité conforte la sécurité alimentaire. Le sorgho et le mil produits en Afrique de l'Ouest et du Centre le sont essentiellement pour la consommation humaine, d'où l'importance qu'accordent les paysans à la qualité alimentaire des variétés qu'ils cultivent. La couleur blanc ivoire de la variété S-35 permet d'obtenir une farine crémeuse et un tô présentable et très apprécié comparé à la boule rougeâtre que donne la variété locale la plus répandue, le *Djigari*, d'où son prix rémunérateur.

## Les contraintes à l'adoption des nouvelles variétés

Les contraintes majeures évoquées par les paysans pour la non adoption des variétés issues de la



recherche sont présentées au tableau VII. Au Cameroun comme au Tchad, la contrainte la plus importante citée par la plupart des paysans non-adopteurs demeure les dégâts causés par les oiseaux granivores sur la variété S-35 Cette variété est précoce et produit des grains sucrés, plantée en même temps que les variétés locales à cycle long, elle arrive à maturité bien avant toutes les autres, elle fournit alors la seule nourriture disponible pour les oiseaux des champs. Le problème de l'infertilité des sols et leur effet sur l'adoption sont observés dans toutes les zones, révélant ainsi l'importance régionale des aléas climatiques, de l'érosion, de la pression démographique et des conditions socio-économiques précaires des paysans de cette partie de l'Afrique.

Le coût élevé des semences cité par les paysans au Tchad met en évidence la difficulté d'organiser un système semencier performant pour des cultures dont les demandes en semences sont très imprévisibles. L'approche « mini-dose » utilisée par le projet semencier de Gassi pour la multiplication et la distribution de semences améliorées produit des semences à un prix trop élevé pour le paysan moyen tchadien (tableau VIII).

Au Mali, certains paysans n'adoptent pas les variétés améliorées de mil et de sorgho parce que, disent-ils, ils manquent d'informations sur ces variétés. Ce manque d'informations traduit une inadaptation des structures actuelles des services de vulgarisation coupées des institutions de recherche initiatrices de ces

Tableau V. Taux d'adoption et superficies emblavées en sorgho S-35 au Tchad et au Cameroun, 1990-1995.

Années d'enquêtes	Tchad			Cameroun		
	Taux d'adoption (%)	Superficie totale en sorgho pluvial (ha)	Superficie plantée S-35 (ha)	Taux d'adoption (%)	Superficie totale en sorgho pluvial (ha)	Superficie en la variété S-35 (ha)
1990	7	150 000	11 935	24	133 685	32 350
1991	8	208 000	16 640	22	142 815	31 783
1992	10	234 600	32 844	24	154 876	37 617
1993	17	184 300	36 860	30	137 760	42 125
1994	22	233 980	56 155	30	134 967	41 780
1995	27	237 259	64 059	32	134 991	44 091

Source : résultats d'enquêtes en milieu paysan ; statistiques nationales agricoles du Cameroun et du Tchad.

Tableau VI. Raisons d'adoption des nouvelles variétés de mil et de sorgho.

Variétés de mil et de sorgho au Mali	Variété de sorgho S-35	
	Cameroun	Tchad
Cycle moyen/précocité	Précocité	Précocité
Rendement acceptable	Qualité alimentaire et fourragère	Productivité
Stabilité de rendement	Productivité	Qualité alimentaire et fourragère
Qualité alimentaire	Prix rémunérateur	Prix rémunérateur

Tableau VII. Contraintes majeures à l'adoption des variétés améliorées.

Variétés de mil et de sorgho au Mali	Variété de sorgho S-35	
	Cameroun	Tchad
Manque d'information	Dégât d'oiseaux	Dégât d'oiseaux
Manque de semences	Moisissure des grains	Cherté des semences
Infertilité des sols	Exige des sols fertiles	Infertilité croissante des sols
	Coût de transformation élevé	

**Tableau VIII.** Prix de vente (en FCFA) de semence améliorée (mini-doses) au Tchad.

Types de mini-dose	Prix de vente aux organismes de vulgarisation		Prix de vente aux paysans	
	En 1990	En 1994	En 1990	En 1994
Prix en gros	160	240	-	-
Sac de 5 kg	700	1 050	800	1 200
Sac de 1 kg	160	255	180	300
Sac de 1/4 kg	80	120	100	150

Source : centre semencier de Gassi, rapport d'activités, 1994. Document de travail n° 18.

variétés. Une meilleure coordination ou intégration des services de vulgarisation et de recherche contribuerait à améliorer le système de diffusion technique actuel du pays. La récente restructuration du Programme national de la vulgarisation agricole (Pnva) est encourageante à ce point de vue.

## **Evaluation de l'impact agro-économique de l'adoption variétale**

### **Impact agro-économique de l'adoption de la variété S-35 au Tchad et au Cameroun**

L'adoption de la variété de sorgho S-35 et des techniques culturales qui l'accompagnent a permis aux paysans d'obtenir des gains de rendement très appréciables allant jusqu'à 50 % au Tchad et 35 % au Cameroun (Njomaha *et al.*, 1996 ; Yapi *et al.*, 1997b). Ainsi, au Tchad, les paysans produisent en moyenne 1 150 kg/ha en utilisant la S-35 contre 760 kg/ha avec les variétés locales. De même, les paysans au Cameroun, en particulier, dans la région du Mayo-Sava, réalisent des rendements de l'ordre de 1 648 kg/ha avec la S-35 contre 1 216 kg/ha avec des variétés traditionnelles. Ces gains substantiels de rendement entraînent des réductions appréciables de coûts unitaires de production de sorgho. Cette réduction a été estimée à 28 % (soit 20 000 FCFA/tonne), au Tchad, et à 26 % (soit 19 800 FCFA/tonne), au Cameroun. Ce qui conduit à des bénéfices nets actualisés de 15 millions de dollars Us au Tchad et de près de 7 millions de dollars Us au Cameroun (pour la seule région du Mayo-Sava). Ces bénéfices nets représentent des taux internes de rentabilité (Tir) de

95 % et de 79 %, respectivement pour le Tchad et le Cameroun.

### **Impact agro-économique des nouvelles variétés de sorgho et de mil au Mali**

Au Mali, les résultats des analyses des données primaires indiquent qu'en moyenne, les paysans obtiennent des gains de rendements de l'ordre de 55 % pour le sorgho (soit en moyenne 927 kg/ha contre 598 kg/ha pour les variétés traditionnelles) et 33 % pour le mil (soit des rendements moyens de 811 kg/ha pour les nouvelles variétés contre 547 kg/ha pour les variétés locales). Ces résultats confirment les résultats d'études précédentes dans la zone. Les gains en rendement s'accroissent en considérant les groupes de variétés tels qu'ils sont présentés dans les tableaux III et IV. Ainsi, pour le sorgho, les avantages en rendements sont de 39 % entre la variété locale et la moyenne du groupe 1, groupe des variétés locales améliorées du type guinea ; alors qu'ils sont de 71 % entre les variétés locales et les variétés de type caudatum. Pour le sorgho, les réductions de coûts unitaires de production associées aux gains de rendements sont de l'ordre de 13 000 FCFA entre les variétés locales et les variétés améliorées du groupe 1 (guinea) et de 25 000 FCFA entre les locales et les améliorées du groupe 2 (caudatum). Pour le mil, les réductions sont de 10 000 FCFA entre les locales et les variétés améliorées du groupe 1 (locales améliorées) ; et de près de 19 000 FCFA entre les variétés locales et celles issues des croisements génétiques.

Les bénéfices nets actualisés découlant de l'adoption des variétés améliorées de mil et de sorgho sont estimés à 25 millions et 16 millions de dollars Us, respectivement, représentant des Tir de l'ordre de 50 % et 69 % respectivement pour le mil et le sorgho (Yapi *et al.*, 1997a).

## Conclusions et recommandations

Les travaux variétaux de la recherche en mil et sorgho conduits en Afrique de l'Ouest et du Centre commencent à produire un impact significatif en milieu rural. Cet impact est vérifié par des taux croissants d'adoption de variétés recommandées par la sélection en station. Dans certains cas, ces taux dépassent 30 %. Ces progrès dans l'adoption de nouvelles variétés trouvent une explication dans une meilleure capacité des produits variétaux de la recherche à répondre aux besoins des paysans et à assurer des gains de rendement en milieu réel. Il reste que des contraintes majeures évoquées par les paysans doivent encore être levées par des progrès dans les technologies agricoles présentées aux paysans par la recherche. Dans ce cadre, les recommandations suivantes peuvent être faites :

- réduire le temps mort entre la mise au point d'une variété (ou d'une technique) et son transfert aux paysans, pour un meilleur impact économique. Au Tchad, la variété S-35 est un exemple illustratif de ce type de recommandation ;
- travailler en réseau dans la sous-région pour réduire les temps de recherche et développement de nouvelles variétés, et donc faire baisser les coûts de recherche ;
- orienter la sélection variétale vers une plus grande utilisation de matériel local, car comme l'a démontré le cas du Mali, les variétés de race guinea sont plus appréciées par les paysans que les variétés introduites de type caudatum ;
- étudier la structuration d'un secteur semencier privé en Afrique de l'Ouest et du Centre pour que les nouvelles variétés puissent se développer en continu en milieu paysan.

### Remerciements

Les auteurs remercient sincèrement les collaborateurs suivants : Alpha Kergna, Ousmane Sanogo (Ier/Ecofil, Mali), Adama Sidibe (Pnva, Mali), Gandaoua Dehala, Komma Ngawara (Drta, Tchad), Abdallah Issaka

(projet semencier de Gassi) ; Charles Ndjomaha et Adamou Abba (Ira-Maroua, Cameroun) pour leur contribution aux résultats de cette communication. Ils ont été des collaborateurs directs dans les études antérieures qui ont servi de base pour la présente communication.

Nous tenons à remercier aussi le Dr O. Niangado (Ier), le Dr J. Chantereau (programme conjoint sorgho Icrisat/Cirad) et le Dr D.S. Murty (Icrisat-Mali) pour leur grande disponibilité et leurs nombreuses suggestions dans la collecte des données secondaires et dans l'identification et la caractérisation des variétés améliorées de sorgho et de mil au Mali.

Toutefois, les erreurs, omissions, et autres manquements reviennent uniquement aux auteurs et à eux seuls.

## Références bibliographiques.

- MATLON P.J. 1990. Improving productivity in sorghum and pearl millet in semi-arid Africa. Food Research Institute Studies, vol 12, n° 1. Stanford University, California, Etats-Unis.
- YAPI A., KERGNA A.S., DEBRAH A., SIDIBE A., SANOGO O., 1997a. Analyse économique de l'impact de la recherche sur le sorgho et le mil au Mali. Rapport de projet de recherche collaborative Icrisat/Ier/Pnva.
- YAPI A., DEHALA G., NGAWARA K., ISSAKA A., 1997b. Assessment of the economic impact of sorghum variety S-35 in Chad. Projet report. Icrisat/Drta Collaborative research on the evaluation of agricultural research impacts in Western and Central Africa region.
- NDJOMAHA C., ADAMOU A., YAPI A., 1996. Impact économique de la variété de sorgho S-35 au Cameroun. Rapport de projet conjoint Ira/Icrisat sur l'évaluation de l'impact de la recherche agronomique en Afrique de l'Ouest et du Centre.



# P résentation de Coton *Doc*, Adventrop *Doc* et Ento *Doc*

B. GIRARDOT

Cirad-Ca, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

P. GRARD, A. RATNADASS

Programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad, BP 320 Bamako, Mali

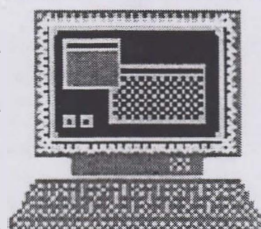
**Résumé** — Le Cirad a développé trois cédéroms pour microordinateur compatible Ibm-pc consacrés aux problèmes phytosanitaires des cultures tropicales, particulièrement en Afrique. Le premier, *Coton Doc*, concerne le cotonnier, il intègre des informations sur les ravageurs et maladies de cette plante. Le second, *Adventrop Doc*, propose un système d'identification original des adventices des cultures de la zone soudano-sahélienne et une base de connaissance sur celles-ci. Enfin, le troisième, *Ento Doc*, est un système d'information (bilingue : français - anglais) consacré aux ravageurs des cultures vivrières et de la canne à sucre en Afrique et dans les îles de l'Océan indien. Ces produits gèrent de façon conviviale des textes, des photos en couleurs, et des glossaires illustrés. Les logiciels permettent à l'utilisateur d'accéder facilement à l'information recherchée. Leur simplicité d'emploi et leur caractère didactique les rendent accessibles à un large public (structures d'enseignement, de recherche et de développement).

**Abstract.** — *Presentation of Coton Doc, Adventrop Doc and Ento Doc.* Cirad has developed three Cd-roms for Ibm-compatible microcomputers, on pest, disease and weed problems in tropical crops, with emphasis on Africa. The first, *Coton Doc*, provides information on diseases and insect pests of cotton. The second one, *Adventrop Doc*, is an original tool for identifying crop weeds in the sudano-sahelian zone (an information data base on weeds being also integrated in the software), while the third, *Ento Doc*, is a bilingual (French-English) multimedia software about insect pests of sugarcane and food crops in Africa and the Indian Ocean region. These user-friendly tools manage texts, color photos and illustrated glossaries. The programs interfaces enable easy access to information, which make them ideal for use by a large audience, such as teachers and students in tropical agriculture, as well as professionals involved in public and private research and development.

Le Cirad (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France) développe depuis plusieurs années des systèmes d'information diffusés sur cédérom (figure 1). Ce support informatique de grande capacité permet de proposer aux utilisateurs des bases de

## Equipement requis :

- micro-ordinateur compatible IBM-PC (486 ou supérieur) ;
- 8 mégas-octets de mémoire vive (RAM) ;
- affichage vidéo 256 couleurs ;
- lecteur de cédérom ;
- Windows (version 3.1 ou supérieure) et une souris.



## Diffusion :

La librairie du Cirad, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

*Pour les lecteurs connectés au réseau Internet, une présentation de ces produits peut être consultée sur le serveur WWW du Cirad (<http://www.cirad.fr>)*

Figure 1. Matériel et diffusion

connaissances particulièrement riches en informations : textes, images, système d'aide à l'identification sont intégrés dans ces nouveaux produits. Ils contribuent de façon originale à la diffusion de l'information scientifique et technique. Les trois produits développés dans le cadre du département des cultures annuelles (Cirad-Ca) sont présentés ici.

## Coton *Doc*, logiciel encyclopédique sur le cotonnier et ses ennemis

La nécessité de faire évoluer la protection phytosanitaire du cotonnier en Afrique tropicale (Cauquil *et al.*, 1994a, 1994b, 1995) a conduit le Cirad à développer *Coton Doc*, logiciel d'aide à

l'identification des ravageurs et des maladies de la culture.

Il a été conçu pour les acteurs de la filière cotonnière afin de valoriser concrètement les travaux de recherche en entomologie et phytopathologie menés dans les quatorze pays concernés par Coton Doc. Il permet d'identifier les diverses sources de dommages aux cultures. Il présente les possibilités de lutte (biologique, chimique...) et propose des programmes intégrés de protection de la culture, qui minimisent les coûts, les dégâts et les effets sur l'environnement. Coton Doc a été produit en partenariat avec l'Aupelf-Uref (Association des universités partiellement ou entièrement de langue française - Université des réseaux d'expression française).

## Un outil documentaire complet

Coton Doc comprend quatre modules accessibles depuis l'écran d'accueil du logiciel (figure 2) :

- la plante ;
- les ennemis ;
- les moyens de lutte ;
- les pays.

Dans chaque module, les informations sont proposées sous une forme conviviale et claire. L'utilisateur est guidé dans sa recherche pour faciliter sa consultation, aller à l'essentiel ou au contraire enrichir ses connaissances. Coton Doc gère ainsi plus de 1 500 pages de textes, 480 photos en couleurs, 180 références bibliographiques, des statistiques cotonnières par pays et un glossaire de plus de 450 définitions.

## Les ennemis du cotonnier

Le module consacré aux ennemis du cotonnier est le plus important (figure 3). Il apporte les données nécessaires à la reconnaissance des causes variées de dommages aux cultures : les ravageurs, les maladies, les carences ou toxicités, les accidents climatiques, etc. Dans chaque situation, des informations précises et fonctionnelles sont réunies :

- les noms scientifiques et communs, la position systématique ;
- la répartition géographique dans la zone choisie (que l'on peut développer dans le module « pays ») ;
- la description sommaire de la biologie et des dégâts ;
- un texte monographique pour les ravageurs ou les maladies les plus importants ;
- les méthodes de lutte ;
- des photos en couleurs et en plein écran (figure 4) ;
- etc.

Ces indications peuvent être consultées directement, en sélectionnant le ravageur ou la maladie sur une liste de noms scientifiques ou communs, ou en



Figure 2. Coton Doc. Ecran d'accueil.

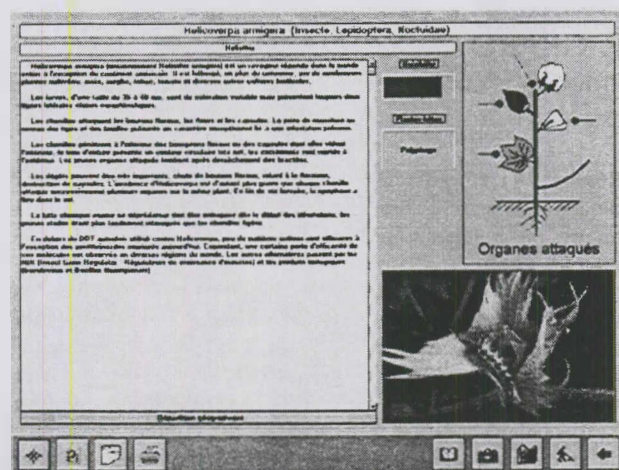


Figure 3. Coton Doc. Les informations sur les ravageurs et maladies.



Figure 4. Coton Doc. Les photos en couleurs.

utilisant l'outil d'aide au diagnostic de Coton Doc. Il est possible en effet de se laisser guider par le logiciel pour identifier les origines probables, en répondant à une série de questions sur la nature des symptômes observés (illustrés par des croquis) et en procédant par étape. Ce module est d'un emploi très souple, presque ludique, le destinant à un public large.



## **Adventrop, une base de connaissance interactive des adventices en Afrique soudano-sahélienne**

La base de connaissance Adventrop comprend le cédérom Adventrop *Doc* et la flore « Adventrop. Les adventices d'Afrique soudano-sahélienne ». Ces deux supports d'information constituent deux outils efficaces d'identification des mauvaises herbes en Afrique de l'Ouest et du Centre. La combinaison du livre et du multimédia offre un matériel unique dans le domaine de l'agriculture tropicale.

Les mauvaises herbes, « ces plantes qui poussent de façon indésirable là où elles n'ont pas été intentionnellement plantées » (Okigbo, 1978), sont particulièrement dommageables aux cultures des pays en développement de la zone tropicale. Les agriculteurs de ces régions consacrent plus de temps à les combattre que dans toute autre partie du monde.

### **Une question d'équilibre écologique**

Actuellement, la plupart des systèmes de culture développés en Afrique soudano-sahélienne sont orientés essentiellement dans un but de productivité accrue, souvent au détriment de l'équilibre écologique. Dans ce contexte, la lutte contre les mauvaises herbes se résume trop souvent à une action défensive visant à protéger une culture contre l'enherbement. Or cette lutte devrait plutôt consister en une action raisonnée de maîtrise du développement d'adventices suffisamment connues pour appliquer les techniques les plus appropriées. Mais l'enherbement demeure une entité peu précise, au comportement variable. Son maintien en dessous d'un seuil de nuisibilité n'est pas toujours obtenu. De plus, l'utilisation répétée d'herbicides favorise la sélection d'espèces non sensibles, qui deviennent de plus en plus concurrentielles à l'égard des cultures. Cela est en grande partie dû à une méconnaissance de la flore adventice : composition, diversité des espèces, écologie et biologie.

Le cédérom Adventrop *Doc* et la flore Adventrop s'inscrivent dans une approche pluridisciplinaire qui devrait amener les agriculteurs, les conseillers agricoles et les chercheurs vers une meilleure connaissance des mauvaises herbes, une compréhension plus fine de leurs conditions de développement et une plus grande maîtrise de l'enherbement et de l'environnement agricole.

### **Les 142 adventices principales**

La base de connaissance Adventrop permet d'identifier et de connaître les 142 mauvaises herbes les plus importantes, rencontrées dans les champs de cotonnier, de maïs, de sorgho et d'arachide. Une quarantaine d'entre elles sont réellement des adventices fréquentes et souvent abondantes, occasionnant de fortes pertes de rendement. Une cinquantaine sont des espèces fréquentes accompagnant généralement les mauvaises herbes principales, mais elles ne présentent pas de danger pour l'instant. Les autres sont inféodées à des milieux particuliers et sont plus rares. Elles constituent alors d'excellents indicateurs écologiques. D'autres sont proches, sur le plan botanique, d'espèces plus importantes et devaient en être différenciées.

Chaque espèce fait l'objet d'une description exhaustive :

- nom valide et synonymes les plus courants ;
- description botanique complète ;
- planche botanique de tous les organes de la plante et de la plantule ;
- photographies en couleurs *in situ* de la plante adulte, de la plantule ou de certains détails.

Le comportement, la biologie, la partition, l'écologie dans les régions soudano-sahéliennes et le cycle de développement sont également détaillés. Un important glossaire explique, avec des illustrations couleurs, tous les termes spécialisés employés en botanique, en pédologie, en météorologie et en agronomie (figure 5).

### **Adventrop *Doc*, un système interactif attrayant**

L'ensemble des données est intégré dans un système multimédia sur cédérom, Adventrop *Doc*. Très pédagogique et abondamment illustré, ce produit interactif est d'un accès facile et particulièrement vivant, différent de la vision traditionnelle d'une flore.

Le cédérom comprend un module d'identification des espèces couplé à une base de connaissance. L'identification se fait de manière graphique par la constitution d'un portrait-robot de la plante (figure 6). Cette méthode a plusieurs avantages :

- elle n'utilise que des dessins, sans terminologie technique ;
- elle laisse à l'utilisateur le choix des caractères à décrire ;
- elle tolère le manque d'information, donc permet d'identifier des échantillons incomplets ;
- elle tolère les erreurs d'observation.

A chaque étape de l'identification, une probabilité de vraisemblance est calculée pour chaque espèce. Les



espèces probables sont alors triées par ordre décroissant de vraisemblance (figure 7).

A tout moment, il est possible d'accéder aux dessins des planches botaniques, aux photographies et aux textes descriptifs et de les imprimer. Tous les termes techniques de ces textes sont gérés en hypertexte qui fait appel aux définitions illustrées du glossaire.

En cas d'indécision quant au choix du caractère à décrire, l'utilisateur peut demander au logiciel de choisir le caractère le plus pertinent. Lorsqu'une espèce est identifiée avec une probabilité inférieure à 100 %, le portrait-robot indique quels sont les caractères mal renseignés.

La combinaison du livre et du cédérom forme un produit très complet. La flore sur support papier est facilement utilisable sur le terrain et accessible aux personnes qui ne sont pas encore équipées du matériel informatique nécessaire à la lecture du cédérom.

Les informations proposées doivent conduire à raisonner les pratiques de lutte contre l'enherbement en fonction des situations rencontrées, le praticien connaissant les mauvaises herbes majeures et les conditions de leur développement. De plus, certaines espèces sont de bonnes indicatrices de l'état de fertilité ou de dégradation du sol, de l'historique de la parcelle et des systèmes de culture.

Cette étude sera progressivement actualisée avec d'autres espèces de la même zone. En outre, l'intérêt particulier que présente ce travail d'investigation mérite qu'il soit également conduit dans d'autres régions du monde.

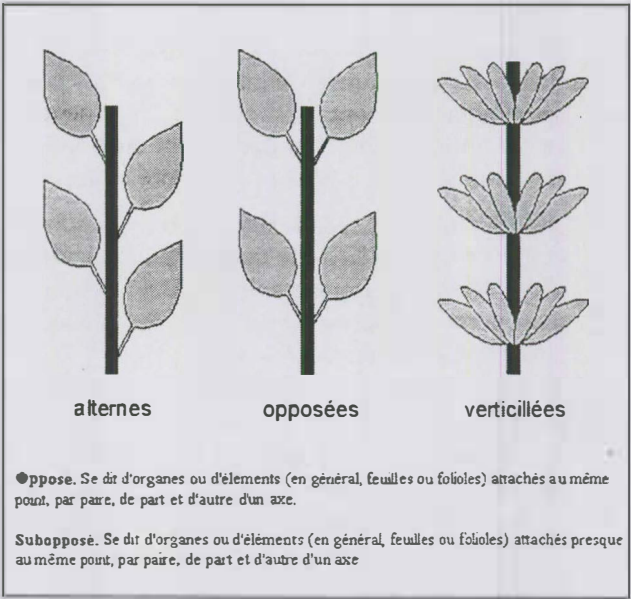


Figure 5. Adventrop Doc. Les définitions illustrées du glossaire.

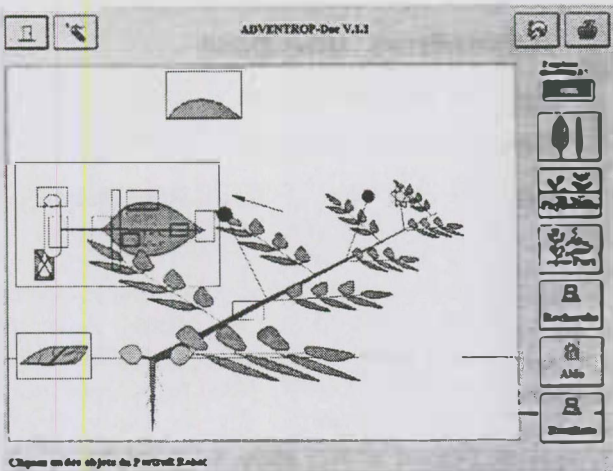


Figure 6. Adventrop Doc. L'identification par portrait-robot.

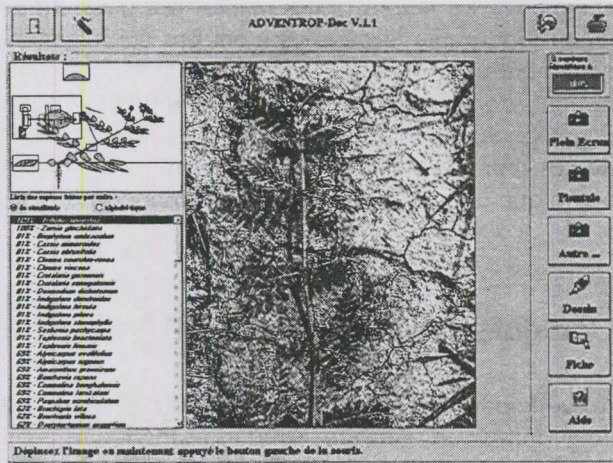


Figure 7. Adventrop Doc. Le tri des espèces par ordre décroissant de vraisemblance.

## Ento Doc, une base de connaissance sur les ravageurs des cultures vivrières et de la canne à sucre

La connaissance des ravageurs des cultures vivrières et de leurs dégâts revêt une importance considérable : elle conditionne le choix des moyens de lutte les plus appropriés pour assurer la protection de la production agricole.

Ento Doc est un système multimédia bilingue (français - anglais) sur cédérom qui propose les informations nécessaires à l'identification des ravageurs, à l'analyse de leur statut et à l'évaluation de leurs nuisances.

Ento Doc est basé sur un ensemble de fiches produites de 1985 à 1989 par le Cirad, en français, puis en anglais (Betbeder-Matibet, 1989, 1990). En 1996, cette série a été revue, mise à jour et complétée par des nouvelles fiches : deux concernent des ravageurs



et 31 des insectes appartenant à la faune utile. C'est donc un ensemble original relatif aux ravageurs et aux insectes utiles (ceux qui contribuent à réduire les populations de ravageurs) qui est proposé aujourd'hui en deux langues (français et anglais) dans le système multimédia Ento Doc.

L'informatisation permet de proposer de nombreuses possibilités d'accès aux informations, de nouvelles fonctionnalités (tel que l'hypertexte), et des photos en couleurs de qualité. Ce produit s'adresse aux enseignants, formateurs et étudiants en entomologie agricole tropicale, ainsi qu'à tous les professionnels du secteur public comme du secteur privé.

Ento Doc a été édité avec le soutien financier du ministère français de la coopération.

Un outil documentaire pratique

Chaque ravageur est présenté sous forme d'une fiche (figure 8) apportant les données nécessaires à sa reconnaissance, à l'identification de ses dégâts (plantes hôtes, répartition géographique), ainsi qu'aux moyens de lutte qui peuvent être mis en oeuvre. Un ensemble de photos est associé à chaque fiche. Elles représentent les différents stades de développement du ravageur et les dégâts qu'il peut causer aux plantes hôtes. Ces photos sont affichables en grand format (plein écran) et imprimables (figure 9).

La faune utile est envisagée dans toutes ses composantes : prédateurs, parasitoïdes et pathogènes. Comme pour les ravageurs, chaque fiche intègre des textes, axés principalement sur le rôle des insectes utiles, et des photos.

Un glossaire hypertexte est accessible depuis l'ensemble des textes : la définition d'un mot est obtenue par un simple clic de souris sur celui-ci. De nombreuses définitions sont illustrées.

Ento Doc gère ainsi plus de 200 pages de textes et 500 photos en couleurs.

Comment accéder aux informations ?

Quatre méthodes sont offertes à l'utilisateur (figure 10) :

- accès par le sommaire des fiches : l'ensemble des fiches disponibles est proposé en trois sections (ravageurs, insectes utiles et aide au diagnostic). A partir des listes correspondantes, l'utilisateur sélectionne la fiche à consulter ;
- accès par le module d'aide à l'identification : les fiches concernant les principaux ravageurs du riz, du maïs, du sorgho, de la canne à sucre et des légumineuses sont accessibles depuis ce module. Une série de questions est posée à l'utilisateur afin de déterminer quel ravageur est présent ou responsable des

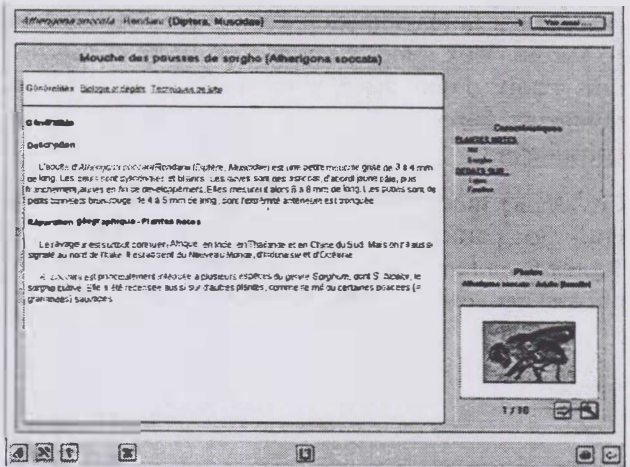


Figure 8. Ento Doc. Les informations sur les ravageurs.



Figure 9. Ento Doc. Les photos en couleurs.

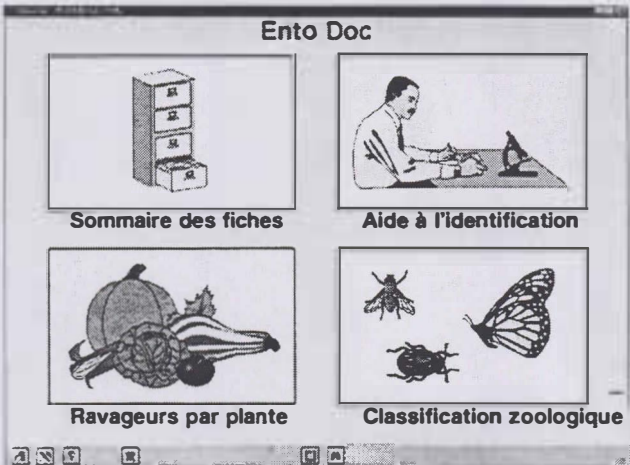


Figure 10. Ento Doc. Les différents modes d'accès à l'information.

- symptômes décrits. L'identification terminée, les fiches retenues sont proposées à la consultation ;
- accès par les plantes hôtes : le choix d'une plante hôte permet d'afficher la liste des ravageurs susceptibles de provoquer des dégâts sur celle-ci. A partir de celle-ci, les fiches descriptives de ces ravageurs peuvent être consultées ;

– accès par la classification zoologique : la sélection se fait en deux temps ; choix d'un ordre d'insectes, puis choix d'une famille. Les fiches relatives aux ravageurs appartenant à cette dernière sont alors consultables ;

Ces divers modes d'accès à l'information rendent Ento Doc particulièrement souple et facile à utiliser. Toutes les informations proposées à l'écran (textes et photos) peuvent être imprimées.

## Conclusion

Le cédérom est un support de très grande capacité qui permet d'offrir des produits synthétiques et performants sur les ennemis des cultures tropicales (ravageurs, maladies, adventices). Ce sont à la fois des outils de recherche, de vulgarisation et de formation. Leur simplicité d'utilisation, leurs possibilités multiples, leur richesse et leur photothèque les destinent à un public large : structures d'enseignement, de recherche et de développement, mais aussi aux professionnels du secteur privé.

L'utilisation des produits du Cirad ne nécessite aucune compétence particulière en informatique : les différents choix sont symbolisés à l'écran par des « boutons », qu'il suffit de désigner par un clic avec la souris.

Ces trois produits originaux constituent un référentiel unique sur les problèmes sanitaires des cultures tropicales. Ils réunissent des systèmes originaux d'aide à l'identification, plus de 2 000 pages de textes et 1 500 photos de qualité.

## Références bibliographiques

BETBEDER-MATIBET M., 1989. Insectes nuisibles aux cultures vivrières d'Afrique, de Madagascar et des Mascareignes. Cirad, 122 p.

BETBEDER-MATIBET M., 1990. Insect pests of food crops in Africa, Madagascar and the Indian Ocean region. Cirad, 122 p.

CAUQUIL J., VAISSAYRE M., 1994a. Protection phytosanitaire du cotonnier en Afrique tropicale. 1- Nouvelle politique de protection et choix des pesticides. Agriculture et développement 3 : 13-23.

CAUQUIL J., VAISSAYRE M., SILVIE P., 1994b. Protection phytosanitaire du cotonnier en Afrique tropicale. 3- Méthodes et moyens pour une lutte intégrée contre les ravageurs. Agriculture et développement 8 : 3-23.

CAUQUIL J., VAISSAYRE M., 1995. Protection phytosanitaire du cotonnier en Afrique tropicale. 2- Contraintes et perspectives des nouveaux programmes. Agriculture et développement 5 : 17-29.

OKIGBO B.N., 1978. Weed problems and food production in developing countries. In AKOBUNDU O.E. (Ed.) Weeds and their control in the humid and subhumid tropics, Ibadan, Nigeria, p. 5-21



Session VI

# **Développement. Les aspects agronomiques**



# E

## volution de l'approche défense et restauration des sols de la Cmdt dans la zone Mali-Sud

### De la lutte antiérosive au maintien du potentiel productif

N.I. FANE, B. WENNINK

Cmdt/Ddrs, BP 1, Koutiala, Mali

**Résumé** — Dans la région Mali-Sud, l'accroissement démographique, la mécanisation, l'extension des surfaces cultivées, ainsi que l'accroissement du cheptel tendent à dégrader le milieu. Autant de conditions qui rendent urgente la mise en place d'actions de maintien de la fertilité. De 1983 à 1985, la Drspr a conduit des recherches dans trois villages de la région de Sikasso, qui ont permis de définir un schéma d'aménagement que la Cmdt a commencé à vulgariser, dès 1986, sur l'ensemble de la zone Mali-Sud, en suivant une approche village. Ce programme a évolué pour devenir, en fin 1993, une stratégie de maintien du potentiel productif (Mpp) qui comprend des actions de gestion des zones cultivées (engrais, lutte contre l'érosion, techniques culturales), d'intégration de l'agriculture et de l'élevage (fumier, aliments du bétail) et de gestion de la zone sylvo-pastorale.

**Abstract** — **Evolution of the CMDT soil conservation and fertility restoration approaches in the southern Mali region: from erosion control to production potential maintenance.** In Mali-Sud, the southeastern part of Mali, population increase, agricultural mechanization, expansion of cultivated area, as well as livestock increase, tend to cause environmental degradation, thus making the actions of fertility maintenance even more important. From 1983-1985, the Research division on rural production systems (DRSPR) conducted studies in three villages of the Sikasso region, which permitted to define at village-level a planning scheme that CMDT started to disseminate as early as 1986 in the whole Mali-Sud area, following a village-oriented approach. This program evolved to become, in late 1993, a Production potential maintenance (PPM) strategy, which comprised the management of cropped areas (fertilizer application, erosion control, cultural practices), crop-livestock integration (in terms of manure and animal feed), and management of the silvicultural-pastoral area.

Commencée en 1983 avec la recherche agronomique et vulgarisée en 1986, la Défense et restauration des sols (Drs) par la Cmdt a une expérience de plus de dix ans et a suivi une évolution dont la présente com-

munication veut donner un aperçu. Après avoir rappelé la genèse et les objectifs de la vulgarisation des mesures Drs, l'évolution de l'approche est traitée en fonction des deux principales phases que la vulgarisation a connues : la lutte antiérosive et l'intégration de la lutte antiérosive dans le programme de développement rural. Ensuite, les conclusions sont présentées par rapport à cette intégration.

## Genèse

### Contexte

Avec une croissance démographique de plus de 2 % par an (tableau I), un accroissement du cheptel, de la mécanisation agricole et une extension des superficies cultivées (7 à 11 % par an) et, par ailleurs, des effets combinés de la sécheresse et de la monétarisation de l'économie rurale, les écosystèmes de la zone Mali-Sud se sont très vite dégradés au cours des dernières décennies. En même temps, les moyens et le niveau de vie des paysans ont certainement augmenté. Mais cette évolution socio-économique favorable a été réalisée par une « exploitation minière » des sols : 40 % des revenus des paysans au Mali-Sud sont obtenus par l'épuisement des sols (Van der Pol, 1991<sup>(1)</sup>).

(1). Van der Pol F., 1991. L'épuisement des terres, une source de revenu pour les paysans au Mali-Sud. In PIERI C. (Ed.), *Savanes d'Afrique, terres fertiles ?* Montpellier, France, Cirad, p. 403-419.

Tableau 1. Quelques données socio-démographiques et agro-écologiques, selon les régions.

	Bougouni	Fana	Koutiala	San	Sikasso	Mali-Sud
Nombre de villages encadrés (1993)	982	855	698	857	887	4279
Nombre d'habitants (1994)	542 637	430 897	550 133	345 459	498 367	2 367 493
Nombre moyen d'habitants par village (1993)	545	490	766	396	552	542
Nombre d'exploitations encadrées (1993)	21 543	25 246	35 227	29 105	23 496	134 617
Nombre moyen d'exploitations par village	22	30	50	34	26	31
Nombre moyen d'habitants par exploitation (1993)	21	13	15	10	12	14
Croissance démographique (moyenne 1976-1991)	1,3	2,8	2,9	1,8	1,8	2,1
Densité de la population 1994 (hab /km <sup>2</sup> )	15	31	30	28	21	25
Superficie cultivable par habitant en 1994 (ha)	4,72	1,42	1,89	1,55	2,66	2,06
Superficie terre cultivée par habitant en 1994 (ha)	0,47	0,62	0,79	0,79	0,54	0,63
Potentiel agro-démographique des terres en 1994	4,7	1,29	1,47	0,96	3,65	2,3

Potentiel agro-démographique des terres (Pat) = nombre d'hectares cultivables en réserve pour chaque hectare cultivé.

Depuis quelques décennies, les systèmes de production de la zone Mali-Sud se transforment : des systèmes de production agricole principalement manuels et basés sur la culture itinérante cèdent la place à des systèmes de production agro-pastoraux sédentaires et mécanisés. Dans ce processus, le facteur « terre arable » tend à remplacer le facteur « main-d'œuvre » comme principal facteur limitant l'émergence des systèmes de production agricole performants et durables.

Sensible aux problèmes de dégradation des terres agricoles, la Cmdt a fait appel à la Drspr<sup>(2)</sup> pour le développement de propositions techniques qui prennent en compte les préoccupations et les réalités des paysans. De 1983 à 1985, l'équipe Drspr de Sikasso a conduit des recherches et des tests sur l'introduction des mesures antiérosives auprès de trois villages dans la région Cmdt de Koutiala. Les résultats obtenus ont été traduits dans un schéma d'aménagement directeur dans le terroir villageois sur la base d'une toposéquence type de la zone Mali-Sud.

Depuis 1986, la Cmdt a formulé un programme Drs appelé projet Lutte antiérosive (Lae) sur la base des recommandations de la Drspr. Le programme couvre l'ensemble de la zone Mali-Sud pour laquelle la Cmdt est chargée du développement intégré de la filière coton et de l'exécution des activités de développement rural<sup>(3)</sup> (figure 1).

### Objectifs et groupe cible

L'objectif à long-terme du programme était formulé comme suit : arrêter ou freiner le rythme de la dégradation de l'écosystème, afin de créer des conditions plus favorables pour le maintien et l'augmentation de la productivité des terres agro-sylvo-pastorales et pour permettre aux populations de pérenniser et de développer leur système de production.

Le principal groupe cible est l'ensemble de la population rurale de la zone Cmdt. Un rôle particulier est accordé aux agents de la Cmdt, compte tenu de leur

rôle comme intermédiaire auprès des paysans. L'animation est réalisée dans les villages. Toutefois, lors des séances d'animation et de programmation villageoises, l'encadrement Cmdt doit tenir compte des différentes représentations villageoises (responsables villageois, néo-alphabètes, exploitations équipées et non-équipées en matériels agricoles, etc.).

### La lutte antiérosive à la Cmdt (1986 à 1994)

#### Stratégie générale d'intervention

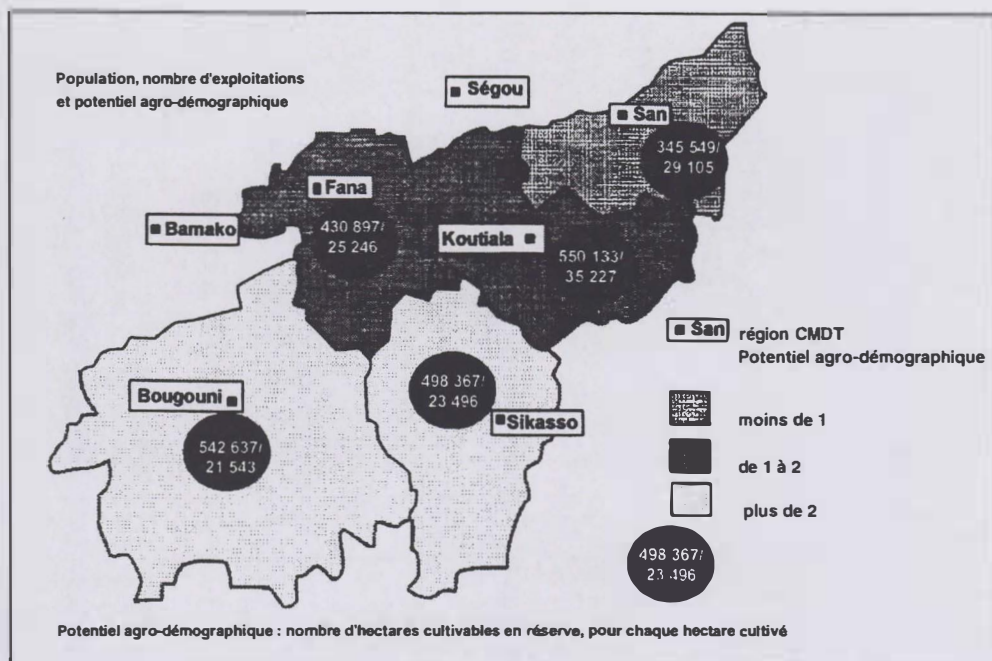
A travers le programme de Lutte antiérosive (Lae), la Cmdt a pour objectif d'encourager les communautés villageoises à entreprendre des travaux d'aménagements anti-érosifs et à appliquer des techniques agricoles plus appropriées. Pour ce faire, le programme a mis au point une stratégie générale d'intervention, dont les éléments-clés sont les suivants :

- l'utilisation de l'approche village ;
- le schéma directeur d'aménagement ;
- la séquence des activités à mener pour introduire la Lae aux villages ;
- la vulgarisation des mesures Lae par l'encadrement Cmdt.

(2). Drspr : Division de recherches sur les systèmes de production rurale appelée Equipe systèmes de production-gestion des ressources naturelles (Espgrn).

(3). La zone Mali-Sud est délimitée par les frontières de la Guinée et de la Côte d'Ivoire au Sud, du Burkina Faso à l'Est et du fleuve Niger au Nord. Elle couvre à peu près 122 000 km<sup>2</sup> avec une population totale d'environ 2 millions d'habitants. La zone s'étend sur trois zones climatologiques : soudanienne nord et sud et soudano-guinéenne, avec une pluviométrie moyenne annuelle allant de 600 mm à plus de 1 000 mm.





**Figure 1.** La zone Mali-Sud : données socio-démographiques et agro-écologiques.

## L'utilisation de l'approche village

La Cmdt a choisi le village comme unité socio-économique et géographique pour l'introduction des mesures Lae, pour les raisons suivantes :

- l'utilisation de l'encadrement de la Cmdt sur place pour la vulgarisation des mesures ;
- l'importance des organisations villageoises, notamment les associations villageoises (Av), pour la communication entre l'encadrement et les villageois, pour l'approvisionnement en moyens de production, etc. et les équipes techniques villageoises (Etv) pour le transfert des compétences techniques ;
- la globalité du problème d'érosion qui concerne l'ensemble des producteurs dans un même sous-terroir. Les causes de l'érosion dépassent souvent le niveau individuel des champs ou des parcelles et les effets (positifs et négatifs) des ouvrages anti-érosifs dépassent également le niveau individuel des champs et des parcelles.

Pour toutes ces raisons, la Cmdt s'adresse, en matière de défense et restauration des sols, à la collectivité villageoise et à l'ensemble des exploitations ayant leurs terres dans un même (sous-) terroir. Ceci permet d'informer tous ceux qui sont intéressés par les mesures proposées et de stimuler la concertation entre des exploitations d'un même sous-terroir.

## Le schéma directeur d'aménagement

Le schéma directeur d'aménagement élaboré part des principes suivants (figure 2) :

- les causes de l'érosion concernent un terroir tout entier et dépassent le niveau d'une seule exploitation agricole ;
- la lutte antiérosive commence en amont, là où le ruissellement des eaux prend sa source ;

– il faut l'organisation du village, du hameau ou du quartier pour exécuter les mesures qui demandent la mobilisation de la population villageoise (mesures collectives) et pour motiver les paysans à exécuter, d'une manière concertée, des mesures dans leurs exploitations.

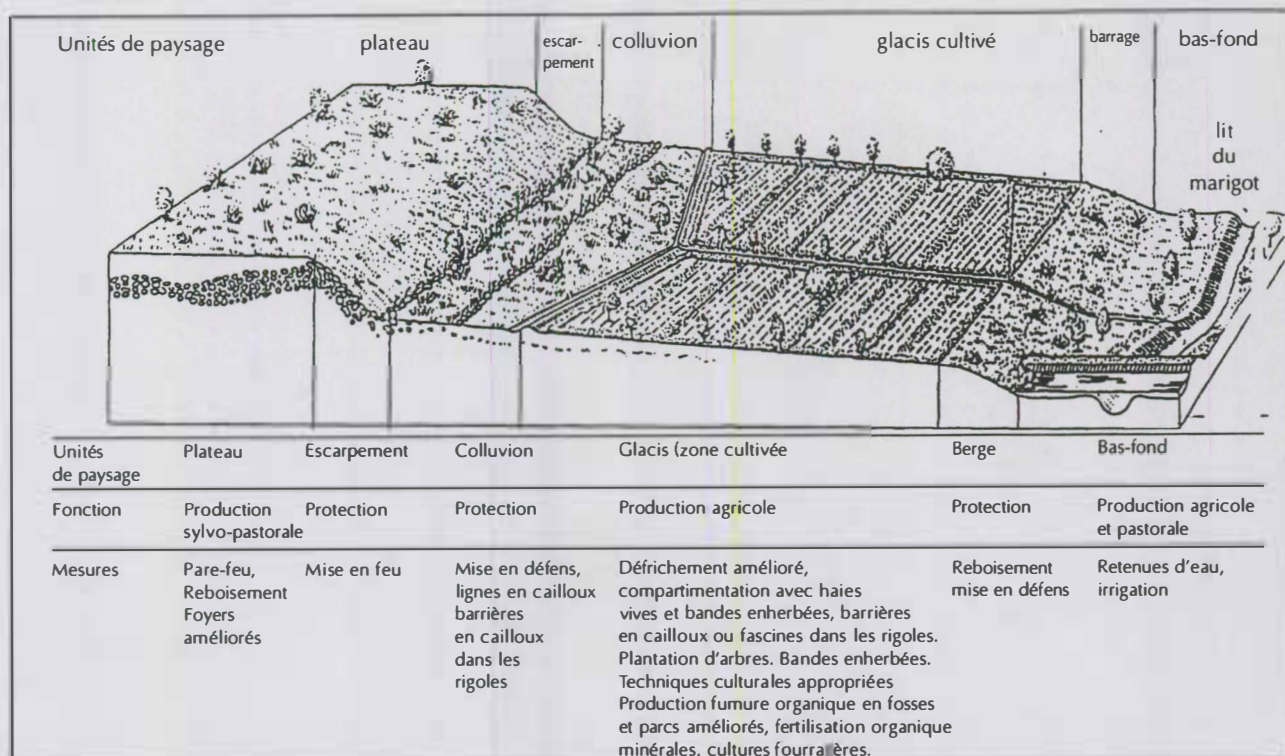
Le diagnostic des problèmes d'érosion s'intéresse à un sous-terroir, suivant la toposéquence de l'amont à l'aval. Les conseils à prodiguer tiennent compte de ce diagnostic et des aspects sociaux (capacité de travail des paysans, etc.) et puisent dans les mesures proposées par le schéma directeur.

Toutes les mesures antiérosives proposées aux villages par le schéma d'aménagement sont réalisables par les villageois eux-mêmes, sans l'apport de matériaux, de matériels ou de fonds : elles sont donc à la portée des paysans sur le plan technique, organisationnel et matériel.

## La séquence des activités à mener pour introduire la Lae aux villages

La démarche d'introduction des mesures Lae retenue est caractérisée par des diagnostics légers, sensibilisations et formations, directement suivis par la programmation, l'exécution et le suivi-évaluation des mesures antiérosives. Pour certaines étapes, les outils nécessaires ont été acquis ou développés.

Les villages encadrés par la Cmdt ayant exprimé le souhait de lutter contre la dégradation des terres et ayant profité de la démarche d'introduction des mesures Lae sont appelés villages Lae. Ils ont comme caractéristique la présence d'une équipe technique villageoise (Etv) formée en techniques Lae et servant de relais villageois.



**Figure 2.** Le schéma directeur d'aménagement : les mesures proposées par unité de paysage. Certaines mesures étaient déjà vulgarisées par la Cmdt avant le démarrage du programme, notamment la production de la fumure organique, de fertilisation et les cultures fourragères. Le service forestier s'occupait déjà de la vulgarisation des foyers améliorés, des pépinières et du reboisement.

## La vulgarisation des mesures Lae par l'encadrement Cmdt

Ayant opté pour la diffusion des messages à travers la structure d'encadrement Cmdt déjà en place, un vaste programme de formation de l'encadrement a commencé depuis 1989. C'est la méthode de formation en cascade qui est utilisée par la Cmdt. La formation de l'encadrement est assurée par les aménagistes, agents spécialisés dans les secteurs<sup>(4)</sup>. L'encadrement, ainsi formé aux méthodes d'animation et de vulgarisation des mesures Lae, est, à son tour, chargé de former les membres des Etv.

Ce principe d'exécution a permis d'étendre progressivement le programme sur un grand nombre de villages dans la zone Mali-Sud.

## Réalisations sur le terrain

Avec l'accroissement du nombre de villages Lae, les réalisations ont, bien évidemment, pris de l'ampleur

(4). La Cmdt est composée de six directions régionales, couvrant le Mali-Sud (5 régions) et le Mali-Ouest (constituant une nouvelle région depuis 1995). Une direction régionale comprend des secteurs (30 au total pour la zone Cmdt) qui sont animés par des équipes pluridisciplinaires. Ces équipes appuient les agents de base qui sont des conseillers auprès des communautés villageoises et exploitations agricoles.

(tableaux II et III). Dix des mesures d'aménagement proposées par le schéma directeur sont massivement adoptées par les villages Lae.

## Les mesures les plus répandues : haies vives, reboisement, lignes en cailloux

Ces trois mesures Lae sont appliquées par plus de 75 % des villages Lae au Mali-Sud.

Les haies vives et la plantation d'arbres sont populaires partout, mais surtout dans la partie sud de la zone Cmdt, où leur réussite est mieux garantie.

Pour les lignes en cailloux, mesure collective par excellence, la région de Koutiala occupe une position spécifique : seulement 60 % des villages Lae appliquent cette mesure. A San et Bougouni, où la cohésion sociale des villages est plus forte, elles sont très répandues (plus de 80 % des villages Lae).

## Les mesures individuelles assez répandues

Cinquante-cinq à 74 % des villages Lae appliquent les mesures suivantes : foyers améliorés, parcs améliorés, fosses fumières, barrières en cailloux, culture fourragère, fascines, à l'exception des bandes enherbées, qui ne sont réalisées que dans moins d'un tiers des villages Lae.

La production de fumure organique en fosse et en parc, ainsi que les foyers améliorés sont



particulièrement appréciés à Fana et à Koutiala. A Sikasso, par contre, le nombre de villages appliquant ces trois mesures est relativement faible.

Les barrières en cailloux sont très répandues à Bougouni et moins à Koutiala.

Les mesures d’aménagement peu répandues

Trois techniques de travail du sol connaissent un certain essor :

- travail du sol perpendiculaire à la pente ;
- grattage à sec (surtout à Fana et Koutiala) ;
- buttage à sillons cloisonnés (surtout à Koutiala).

Parmi les techniques qu’on ne retrouve pratiquement pas sur le terrain, on peut citer : lignes en tiges (qu’on trouve un peu à Koutiala et à Bougouni), digues filtrantes (Koutiala, San), défrichement amélioré (Bougouni), soles fourragères (Koutiala et aussi Sikasso, Fana, Bougouni), pare-feux (Bougouni), mise en défens, zaï (Tominian), étable fumière et entretien des arbres champêtres.

Contraintes signalées

Malgré le niveau atteint par les réalisations quantitatives sur le terrain et l’adoption massive de certaines mesures d’aménagement, les contraintes suivantes ont été signalées lors de l’exécution du programme :

- le niveau de réalisations et d’adoption, mais aussi le rythme actuel de couverture des villages par la démarche Lae (les villages Lae), ne freinent que timidement la vitesse de dégradation des terres ;
- le schéma d’aménagement proposé vise surtout la maîtrise des eaux de ruissellement le long de la toposéquence et il souligne peu l’importance des autres domaines dans l’utilisation durable des terres, comme la fertilisation des sols et l’intégration agriculture-élevage ;
- les relations de complémentarité entre les différentes mesures ne sont pas très bien perçues, d’où souvent une application mécanique du schéma d’aménagement ;
- les spécificités régionales et locales ne sont pas bien prises en compte pour conseiller des mesures d’aménagement aux paysans ;
- l’approche village est confondue avec l’approche collective et les Etv ne servent pas toujours de relais entre l’encadrement Cmdt et les exploitations agricoles, si bien que les mesures collectives Lae

Tableau III. Réalisations annuelles moyennes par village Lae.

Nombre d’habitants : 650	
Nombre d’exploitations : 45	
Nombre moyen d’habitants par exploitation : 14,5	
Lignes en cailloux	1 585 mètres
Haies vives	4 375 mètres
Reboisement	1 025 plants
Pare-feux	45 mètres
Foyers améliorés	20 exploitations
Fosses fumières	11 exploitations
Parcs améliorés	7 parcs
Cultures fourragères	8 hectares
Barrières en cailloux	5 exploitations
Fascines	4 exploitations
Bandes enherbées	2 exploitations

Sur la base des résultats de 4 campagnes (de 1990-1991 à 1993-1994), le programme Lae a calculé, pour la zone Mali-Sud, les réalisations annuelles moyennes d’un village Lae. Cela donne une idée de ce qui se passe concrètement dans ces villages.

(notamment les lignes en cailloux) dominant au détriment des mesures individuelles ;

- la démarche spécifique de Lae ne favorise pas son insertion dans le programme classique de l’encadrement.

L’intégration de la lutte antiérosive dans le programme de développement rural de la Cmdt (à partir de 1994)

Le concept de maintien du potentiel productif

Le programme Lae avait tendance à évoluer vers un programme environnemental dépassant la seule lutte antiérosive. C’est pourquoi en fin 1993, la Cmdt a défini une stratégie globale de maintien du potentiel productif (Mpp). Ce terme souligne l’aspect qui intéresse les paysans (et la Cmdt) : les ressources naturelles (sol, eaux, végétation) sont le soubassement de l’économie rurale de la zone Mali-Sud.

Tableau II. Nombre et pourcentage des villages Lae par région (situation mars 1996).

	Bougouni	Sikasso	Koutiala	Fana	San	Mali-Sud
Nombre de villages Lae	195	286	276	189	189	1 135
Nombre total d’unités d’encadrement	1 095	887	702	889	868	4 441
% villages Lae	18 %	32 %	39 %	21 %	22 %	26 %



Le maintien du potentiel productif part du constat que la dégradation des ressources agro-sylvo-pastorales de la zone Mali-Sud consiste essentiellement en :

- la baisse du potentiel productif des terres de culture par l'épuisement des sols et l'érosion ;
- l'insuffisance du fourrage pour le bétail ;
- la dégradation de la couverture végétale et la disparition des espèces appréciées dans les zones sylvo-pastorales.

Les différentes mesures proposées pour résoudre ces problèmes et évoluer vers des systèmes de production plus intensifiés et plus durables sont complémentaires et se renforcent mutuellement :

- la gestion de la zone cultivable par une meilleure organisation de l'espace, des mesures antiérosives, la fertilisation organique et minérale et des techniques culturales appropriées ;
- une synergie entre l'agriculture et l'élevage, aboutissant à la production du fumier nécessaire pour la fertilisation des sols et à l'amélioration de la situation alimentaire du bétail, important pour la culture attelée ;
- la gestion de la zone sylvo-pastorale, pour qu'elle protège davantage les terres de culture contre l'érosion et favorise l'élevage par une meilleure production de fourrage.

La figure 3 visualise ce concept. Les trois grands domaines (gestion de la zone cultivable, intégration agriculture-élevage, gestion de la zone sylvo-pastorale) du maintien du potentiel productif sont constitués de plusieurs actions (aménagement de l'espace cultivable, fertilisation des sols, lutte antiérosive, etc.) qui, à leur tour, sont composées de plusieurs mesures concrètes. Ainsi, un répertoire technique a été conçu dans lequel peuvent être sélectionnées les mesures qui répondent aux préoccupations des paysans. Le choix des mesures dépend des réalités physiques et sociales d'un village, tout en veillant sur les liens et la synergie entre les différentes mesures.

Ainsi, depuis 1994, les différentes actions du répertoire présenté par le tableau IV (fertilisation des sols, alimentation des animaux, production de la fumure organique, etc.) font l'objet de l'élaboration des fiches techniques (en français et bamanan) destinées aux agents et paysans comme support de transfert de compétence, afin de promouvoir la diffusion des mesures.

## La démarche d'animation villageoise

Afin d'harmoniser les approches qui existent au sein de la Cmdt pour l'exécution des différents programmes de développement rural, dont le programme Lae, la Cmdt a élaboré une démarche d'animation villageoise en cinq étapes récurrentes, qui

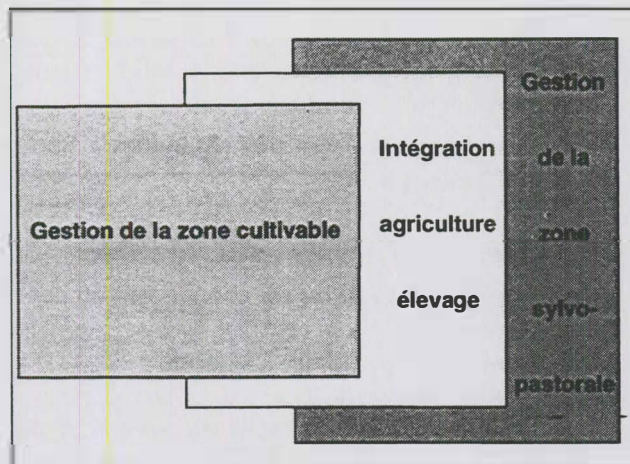


Figure 3. Le concept de maintien du potentiel productif.

sera progressivement rendue opérationnelle par l'application de méthodes et d'outils plus participatifs (figure 4). De plus, cette démarche permettra à l'encadrement Cmdt d'évoluer à terme vers un rôle de conseiller auprès des villageois.

## Conclusions

L'évolution de la lutte antiérosive vers le maintien du potentiel productif a mis en évidence les différents domaines d'intervention et les actions nécessaires pour une utilisation plus durable des terres et la complémentarité entre ces actions, ainsi que leurs liens avec d'autres actions de développement agricole et pastoral. C'est ainsi que la gestion de la fertilité des sols est maintenant perçue comme l'action

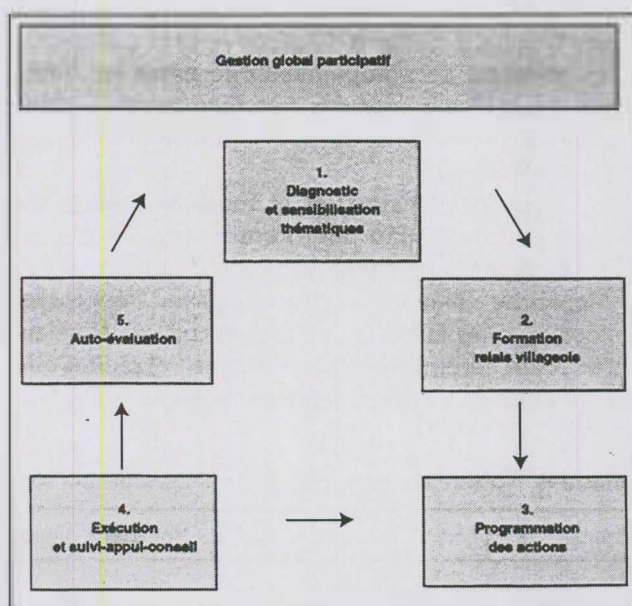


Figure 4. La démarche d'animation villageoise.

Tableau IV. Le répertoire technique du maintien du potentiel productif.

Gestion de la zone cultivable	Integration agriculture-élevage
<b>Aménagement de l'espace cultivable</b> Défrichement amélioré, piquetage Délimitation des champs et parcelles Rotation et assolement Entretien et régénération des arbres Plantation d'arbres	<b>Alimentation des animaux</b> Cultures fourragères pures et associées Soles fourragères Coupe et valorisation du foin Stockage et valorisation des sous-produits agricoles Complémentation alimentaire
<b>Fertilisation des sols</b> Fertilisation organique Fertilisation minérale	<b>Production fumure organique</b> Production fumure organique en parc Production fumure organique en fosse
<b>Lutte antiérosive</b> Lignes en cailloux Lignes en tiges Barrières en cailloux Fascines Haies vives Bandes enherbées Brises-vent	<b>Production, santé et traction animale</b> Installation parc amélioré Etable fumièrre Stabulation saisonnière Production et conditionnement des bœufs de labour Embouche (ovine et bovine) Suivi et traitement sanitaire
<b>Préparation du sol et entretien des cultures</b> Labour de fin de cycle Grattage Houage (perpendiculaire à la pente) Labour (perpendiculaire à la pente) Semis (perpendiculaire à la pente) Gestion de la zone sylvo-pastorale Zaï Sarclage Buttage à sillons cloisonnés Lutte étagée ciblée	<b>Gestion de la zone sylvo-pastorale</b> <b>Réglementation de l'utilisation des forêts et pâturages naturels</b> Réglementation du défrichement Réglementation de la pâture Réglementation de la coupe du bois  <b>Techniques d'exploitation et mesures d'aménagement</b> Foyers améliorés Techniques de coupe de bois vert Pare-feux Mise en défens Plantation d'enrichissement

pivot de défense et restauration des sols, basée sur la fertilisation minérale et organique, accompagnée de mesures d'aménagement de l'espace, de mesures antiérosives et de techniques culturelles appropriées pour la préparation des sols.

L'adoption d'une démarche d'animation, pour la vulgarisation de l'ensemble des activités de développement rural confiées à la Cmdt, permet de rendre plus opérationnel la complémentarité entre les différents domaines d'intervention, de couvrir tous les villages du Mali-Sud encadrés par la Cmdt, presque tous confrontés aux problèmes de dégradation des terres, et de les faire profiter des conseils techniques en matière de Drs.

Il est néanmoins important que la capacité analytique de l'encadrement Cmdt soit renforcée pour pouvoir mieux adapter les conseils techniques en fonction des réalités agro-écologiques et socio-économiques du terrain et que les relais villageois soient diversifiés pour atteindre au maximum les exploitations agricoles.

L'évolution, décrite ci-dessus, de l'approche de défense et restauration des sols de la Cmdt dans la zone Mali-Sud a favorisé l'insertion effective des actions dans le répertoire des activités de développement rural. Un répertoire dont l'ensemble des activités vise la promotion de systèmes de production durables et performants.



# Participation paysanne et gestion de la fertilité

S. KANTE, T. DEFOER, T. HILHORST  
Espgrn, BP 186, Sikasso, Mali

**Résumé** — Pour maintenir et améliorer la fertilité des sols, et ainsi assurer la durabilité des systèmes de production, les paysans doivent tenir compte des particularités agro-pédologiques et socio-économiques des exploitations. C'est pourquoi l'Espgrn a entrepris une recherche-action pour développer une méthode participative. Cette méthode participative a pour objectif de permettre aux paysans et à l'encadrement de décrire et d'analyser les contraintes, de raisonner et planifier des actions pour améliorer la gestion de la fertilité des sols ainsi que de suivre et d'évaluer ces actions à long terme (indicateurs de durabilité). Cette méthode s'appuie sur une carte de l'exploitation, dressée avec des signes compréhensibles par tous les paysans, lettrés ou non, pour représenter tous les flux d'éléments minéraux par les récoltes, les tiges, les fumiers, etc. Cette carte permet de sensibiliser les paysans sur les possibilités d'améliorer la gestion de la fertilité de leurs terres. Les études ont été réalisées dans trois villages où les exploitations ont été regroupées suivant : (1) des critères de gestion : fumure organique, fumure minérale, mesures de lutte anti-érosive ; (2) des critères structurels : nombre d'actifs, charrettes, etc. On a pu ainsi distinguer trois classes de gestion de la fertilité de I (très bon) à III (mauvais). Après deux années, les paysans de la classe III ont amélioré le brûlis, le recyclage des résidus et la production de la fumure organique, se rapprochant ainsi des pratiques des meilleurs gestionnaires.

**Abstract** — **Farmer participation and fertility management.** To maintain and improve soil fertility in order to ensure the sustainability of production systems, farmers must take into account the agro-pedological and socio-economic factors of the farms. This is why the Production Systems and Natural Resources Management Team (ESPGRN) undertook an action-research program with the objective of developing a participatory method to enable farmers and the development framework to: i) understand the current situation and analyze constraints; ii) study and plan actions aiming at improving soil fertility management; and iii) monitor and evaluate these actions on the long term (sustainability indicators). A map of the farm, with symbols understandable to even illiterate farmers, is used to illustrate the flows of mineral compounds through harvest, crop residues, manure etc., which makes it possible to increase farmers awareness of the possibilities of improving fertility management in their fields. Studies were conducted in three villages, where farms can be grouped following: i) management criteria (organic manure, mineral fertilizer application, erosion control

measures); ii) structural criteria: number of persons in activity, carts, etc. Three classes of fertility management can thus be differentiated, ranking from I (very good) to III (poor). After two years, farmers in class III improved burning, recycling of residues, and organic manure production, thus drawing nearer to the practices of the best managers.

La culture du coton et la traction animale, combinées à une forte pression démographique et à l'éclatement des exploitations des familles composées ont entraîné une extension rapide des superficies cultivées, ainsi, dans les zones de Koutiala et Sikasso, 80 % des terres arables sont cultivées de façon permanente. Les apports de fumure organique et minérale sont actuellement insuffisants par rapport aux exportations et un déficit en éléments nutritifs est généralement constaté (Van der Pol, 1992 ; Traoré, 1993). La recherche, malgré la multitude de techniques et de méthodes mises au point en vue d'améliorer la fertilité des sols, reste limitée à des recommandations d'ordre général (Kanté *et al.*, 1993). Pour donner des conseils pertinents aux paysans sur le maintien, voire l'amélioration de la fertilité des sols, les chercheurs et les vulgarisateurs doivent nécessairement prendre en compte les particularités agro-pédologiques et socio-économiques des exploitations ou groupes d'exploitations. C'est dans ce cadre que l'Espgrn, en réponse au problème de la baisse de fertilité évoqué par les paysans (Crra Sikasso, 1995), s'est engagée dans l'élaboration d'une approche méthodologique participative de l'amélioration de la gestion de la fertilité des sols et de la durabilité des systèmes de production. Cette méthode de recherche-action doit permettre aux paysans et à l'encadrement :

- d'identifier les variables-clefs, d'appréhender l'état actuel et d'analyser les contraintes de la gestion de la fertilité des sols du village et de l'exploitation ;



- de raisonner et planifier les actions à engager en matière de gestion de fertilité des sols, en tenant compte des éléments structurels des exploitations ;
- de suivre et d'évaluer ces actions à long terme (« indicateurs de durabilité »).

Une pré-étude a été réalisée en décembre 1993 dans les zones de Koutiala et Kignan. Elle a été suivie d'un test en août 1994 à Noyaradougou ; village situé à environ 30 km de Sikasso. A partir de ces études, les critères de distinction des exploitations en matière de gestion de la fertilité ont été regroupés en critères de gestion et critères structurels. En fonction de la valeur relative de ces critères, les paysans ont été regroupés en plusieurs classes de gestion. Ainsi, à Noyaradougou, trois classes principales ont été distinguées et les recommandations d'amélioration de la gestion de la fertilité ont été préconisées en prenant en compte les particularités de ces classes (Defoer *et al.*, 1995). Cependant, les aspects liés à la planification des actions recommandées, leur mise en place et le suivi-évaluation n'ont pas été abordés lors des études précédentes. Aussi, dans le souci de compléter cette approche, des tests ont été organisés dans les villages de Gongasso et M'Peresso, situés respectivement dans les régions Cmdt de Sikasso et Koutiala.

## Méthodologie

### Approche

L'approche méthodologique utilisée et décrite par Defoer *et al.*, (1995), distingue quatre phases principales (figure 1) :

- la phase 1 : diagnostic-analyse, qui comprend quatre étapes au niveau (1) du terroir villageois, (2) de la diversité de gestion de fertilité de l'ensemble

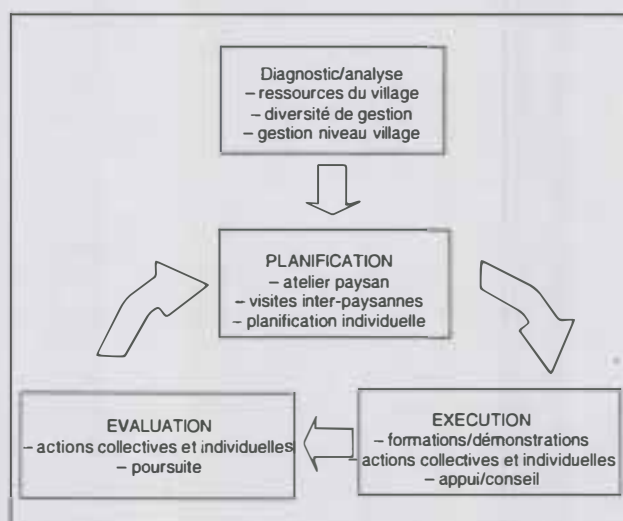


Figure 1. Les phases de l'approche méthodologique.

des exploitations, (3) des exploitations individuelles représentatives de chaque classe d'exploitations (hommes et femmes) et enfin (4) la restitution des résultats du diagnostic ;

- la phase 2 : planification des actions, c'est-à-dire constitution des ateliers de formation, visites inter-paysannes, établissement de cartes de planification (prospection des flux de produits auprès des hommes et femmes) ;

– la phase 3 : appui à la mise en place des actions collectives ou individuelles ; les actions sont ciblées par classe d'exploitation et concernent le stockage et l'utilisation des résidus de récolte comme litière et comme fourrage, les cultures fourragères, la préparation de la fumure organique (compost, fumier, ordures), les travaux de lutte anti-érosive, etc. ;

- la phase 4 : suivi-évaluation des réalisations d'actions et de l'adoption des techniques.

Une modification a été apportée dans l'étape diagnostic-analyse dans le terroir villageois, où les groupes des femmes, des jeunes hommes et des vieux chargés de l'élaboration de la carte du terroir ont été remplacés par un groupe « pivot », constitué de représentants de chacun de ces groupes. Le mode de classement des exploitations a également été modifié.

Dans le souci de mieux apprécier l'appartenance à une classe donnée, chaque exploitation a été classée par les vieux, les femmes et les jeunes. Les exploitations rangées dans la même classe par les trois groupes ont été choisies en priorité pour des entretiens individuels. Les cartes d'exploitation ont été tracées avec des symboles compréhensibles par tous les paysans, alphabétisés ou non. Par rapport aux premières études, seuls les symboles les plus simples et les plus utilisés par les paysans ont été conservés.

Dans le cadre de la planification, des ateliers de formation des paysans et des visites inter-paysannes sont organisés. Des cartes de planification sont élaborées sur la base des cartes d'exploitation préparées au cours de l'étape diagnostic-analyse. La mise en place des actions est soutenue par des démonstrations sur les différentes actions. Le suivi des activités est fait en fonction de la carte de planification, qui est également utilisée pour l'évaluation du niveau d'exécution des activités planifiées. On en déduit alors une carte de réalisation. Les flux de produits sont suivis sur plusieurs années pour évaluer l'effet de l'application de cette approche (« identification des indicateurs de durabilité »).

### Base de données

L'étude a été réalisée dans les villages de Noyaradougou, Gongasso et M'Peresso ou respectivement 20, 17 et 8 exploitations sont suivies. A M'Peresso, une augmentation de l'échantillon jusqu'à 20 exploi-

tations est prévue. Les données secondaires ont été relevées auprès de l'équipe technique des villages concernés ou de la Cmdt. Les données ont été recueillies lors des interviews à l'aide de cartes élaborées avec les paysans et de fiches pré-établies.

Les caractéristiques de l'exploitation et des différentes parcelles ont été prises en compte. Les données sur les échanges de produits entre l'exploitation et l'extérieur et entre les différentes composantes (parc, compostières, et parcelles) de l'exploitation ont été collectées.

Les données sur les caractéristiques de l'exploitation concernent le nombre d'actifs (hommes et femmes), de bovins, de caprins, d'ovins, d'asins, l'équipement, le nombre de compostières, de parcs améliorés, de fosses fumières, de tas d'ordure de poulaillers.

Les caractéristiques de chaque parcelle ont été précisées par des données sur le type de sol, la superficie des parcelles, la culture (les rotations), la production, les dispositifs de lutte antiérosive.

Les flux entrées de produits concernent les quantités de produits que reçoivent les parcelles et le troupeau. Sur la parcelle, il s'agit des engrais minéraux (complexe coton, complexe céréale et urée) et des engrais organiques (fumier, compost, ordures). Pour le troupeau, ce sont les aliments du bétail, tourteaux et autres produits utilisés dans l'alimentation des animaux.

Les flux sorties se rapportent essentiellement aux quantités de produits qui quittent les parcelles à destination d'autres composantes comme le parc (litière, fourrage), les compostières, les tas d'ordures. Les quantités de résidus brûlés ou pâturés sur place sont aussi prises en compte. A cela, il faut ajouter la partie de la production qui sort de l'exploitation.

Pour les analyses, les données sont organisées par culture ou groupe de cultures, par exploitation, par classe d'exploitation et par an. Les analyses ont porté sur les quantités de compost, fumier, fourrage, complexe coton, complexe céréale et urée par hectare ou par Ubt.

## Résultats

Dans le cadre du perfectionnement de l'approche, un test sur la gestion de la fertilité a eu lieu en septembre et décembre 1995, respectivement à Gongasso et M'Peresso.

### Diagnostic à Gongasso et M'Peresso

Certains critères ont été reconnus par les paysans des deux villages comme étant à la base des différences de gestion de la fertilité des sols entre les exploitations (tableau I). Les plus pertinents de ces critères pourront être utilisés comme indicateurs de durabilité, bien que la quantification de certains d'entre eux, comme le « courage » ou l'organisation interne, ne soit pas aisée.

A côté de ces critères communs, d'autres critères comme le mode d'appropriation des terres, le parage des animaux sur le champ, la jachère, le reboisement, la possession d'ovins ou de caprins ont été cités dans les différents villages.

### Planification et suivi-évaluation à Noyaradougou

Les points saillants issus du diagnostic de Noyaradougou ont été discutés dans le rapport de comité des utilisateurs de 1995 (Espgrn, 1995). Il en ressort que la carte d'exploitation est un outil qui permet aux paysans d'analyser la gestion actuelle de la fertilité des sols, d'identifier les contraintes et de planifier les actions d'amélioration de la fertilité. Les résultats présentés ci-dessous sont centrés sur les activités planifiées et leur évaluation une année après le diagnostic.

Les activités planifiées sont étroitement liées aux contraintes identifiées lors du diagnostic et aux recommandations faites par classe (Defoer *et al.*, 1995). Les recommandations ont été faites en fonction des ressources des exploitations représentatives des classes et de leurs stratégies de gestion de

Tableau I. Critères de différenciation de gestion de la fertilité communs aux différents villages.

Critères de gestion	Critères structurels
- Production et utilisation fumure organique	- Connaissances pratiques (formation et transfert de compétence)
- Utilisation fumure minérale (doses, dates et mode apport)	- « Courage »
- Mesure de lutte anti-érosive	- Organisation interne de l'exploitation (entente, motivation des actifs)
- Techniques culturales (rotation, préparation du sol, entretien des cultures)	- Situation financière de l'exploitation,
	- Nombre actifs (main-d'œuvre),
	- Nombre de bovins,
	- Moyen de transport (charrette) et distance champ/village,
	- Type de sol (qualité du sol)



ces ressources. La planification du labour sur courbe de niveau ne dépend pas de la classe, mais de l'existence de l'érosion comme contrainte dans l'exploitation. L'utilisation du Pnt fut proposée indépendamment de la classe par l'Espgrn afin d'améliorer la qualité du compost produit.

Les activités planifiées en matière de recyclage des résidus, de production de fumure organique et d'alimentation du bétail ont été portées sur les cartes de planification. Des formations et des démonstrations ont précédé la mise en place des actions.

### Actions planifiées et réalisées

L'évaluation a été faite en comparant les activités planifiées à celles qui avaient effectivement été exécutées au moment de l'évaluation. D'une manière générale, les activités planifiées par les paysans ont été exécutées. Toutefois certaines parcelles devant être cultivées sont restées en jachère en raison de la mortalité des bœufs de trait ou de l'exode de certains actifs. Les changements sont fréquents dans la classe III, limitée en main-d'œuvre, en bovins et sur le plan financier. Les résidus stockés comme fourrage, mais non utilisés du fait des pluies précoces et de la réduction du nombre d'animaux, ont en grande partie été utilisés comme litière ou dans les compostières. Le labour sur courbe de niveau a été fait chez deux exploitants de la classe I et un de la classe III. Les paysans se sont également investis dans la confection de compostières près des maisons ou des champs.

Tous les paysans de la classe I ont procédé au recyclage des tiges de cotonniers et ont à 100 % exécuté leur plan de campagne. Ils possèdent tous un parc bovin dans lequel ces tiges sont utilisées comme litière. Au moment du diagnostic participatif (Dp), seulement 20 % des paysans de la classe III recyclaient les tiges de cotonniers comme litière (figure 2), mais ce chiffre a atteint 80 % une année après le Dp.

Le recyclage des tiges de céréale comme litière était assez timide au moment du Dp, pratiqué par 40 % des paysans de la classe I contre 0 % de ceux de la classe III. En effet, les tiges de céréale étaient en grande partie pâturées sur place et les restes brûlés par les paysans. Les tiges de sorgho sont moins utilisées en litière car elles se décomposent moins vite que les tiges de cotonniers. Une année après le Dp, il a été constaté que 100 % des paysans de la classe I et 60 % des paysans de la classe III ont commencé à les utiliser (figure 3). Les plans ont été réalisés à 100 % dans la classe I et 150 % dans la classe III.

Le recyclage des tiges de céréale comme fourrage était pratiqué par 80 % et 40 % des paysans des classes I et III au moment du Dp (figure 4). La classe I a réalisé à 100 % ses prévisions, tandis que la classe

III a recyclé plus que prévu dans son plan : 133% de réalisation.

Les compostières près des maisons étaient présentes au départ chez tous les paysans de la classe I et 80 % de ceux de la classe III. Après une année, elles étaient généralisées chez tous les paysans des deux classes (figure 5).

Au total, en matière de recyclage des résidus, il ressort que les paysans des deux classes ont pu réaliser les actions planifiées (figures 2, 3, 4 et 5). Le recyclage des tiges de céréale a même été réalisé par plus de paysans de la classe III qu'il n'avait été prévu (figure 3 et 4). Par contre, pour les actions «nouvelles» proposées, le taux de réalisation au sein de la classe I est très supérieur à celui de la classe III (tableau II). Cela peut être expliqué par le fait que les paysans de la classe III veulent atteindre un niveau de gestion de la fertilité proche de celui de la classe I. Cependant, la faiblesse de leurs ressources, surtout la main-d'œuvre et le nombre de bovins ne leur permet pas de mener plusieurs actions à la fois. Pour être efficace, en fonction de ses moyens limités, la classe III doit centrer ses efforts sur certaines actions prioritaires.

### Comparaison des réalisations des campagnes 1993-1994 et 1994-1995

L'exécution de l'approche à Noyaradougou a permis de sensibiliser les paysans sur les pertes liées au brûlis. Ainsi, en 1995, dans toutes les classes de gestion de la fertilité, une réduction du brûlis allant de 7 % à 45 % par rapport à 1994 a été constatée. La classe III a réduit presque de moitié les pertes liées au brûlis (tableau III).

Les quantités de résidus de récolte recyclés comme litière, fourrage et compost, ont en moyenne augmenté entre 1994 et 1995 de 119 kg/ha pour la classe I et de 289 kg/ha pour la classe III (tableau III). La tendance est semblable pour la quantité de résidus recyclés comme litière et fourrage par Ubt : augmentation de 25 kg/Ubt et de 225 kg/Ubt respectivement pour les classes I et III (figure 6).

Les quantités de fumure organique produites et utilisées par exploitation sont passées de 3,6 t en 1994 à 4,2 t en 1995, soit une augmentation de 0,6 t pour la classe I. Elles ont évolué de 1,6 t en 1994 à 3,4 t en 1995 soit une augmentation de 1,8 t pour la classe III (tableau III). La quantité de fumier produite par Ubt par les classes I et III a augmenté respectivement de 11 % et 67 % (figure 7).

L'évaluation sur deux années des réalisations concernant les brûlis, le recyclage des résidus et la production de la fumure organique, montre que les paysans de la classe III ont réalisé des améliorations plus importantes que ceux des autres classes. Ils montrent ainsi qu'ils cherchent à atteindre des performances proches de celles des meilleurs gestionnaires.



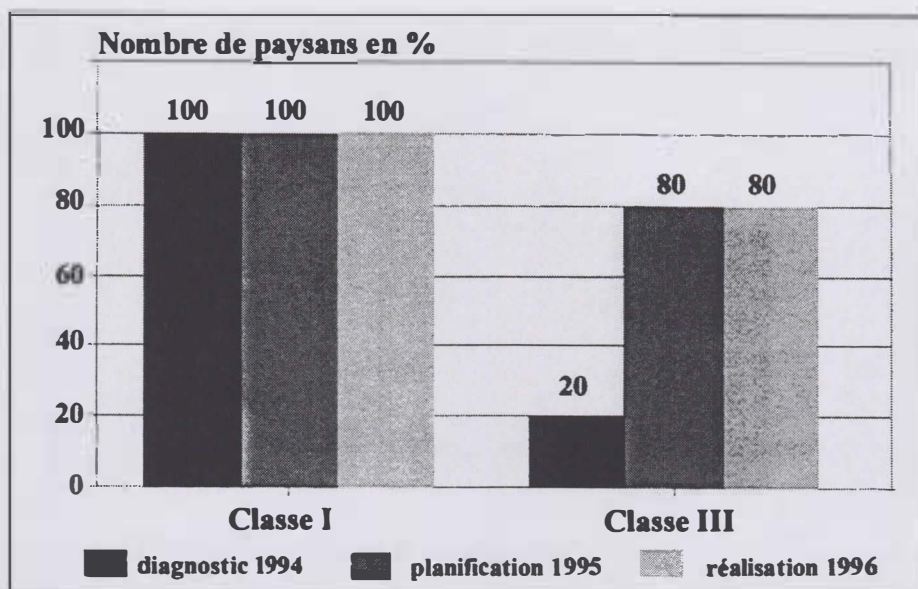


Figure 2. Recyclage des tiges de coton comme litière.

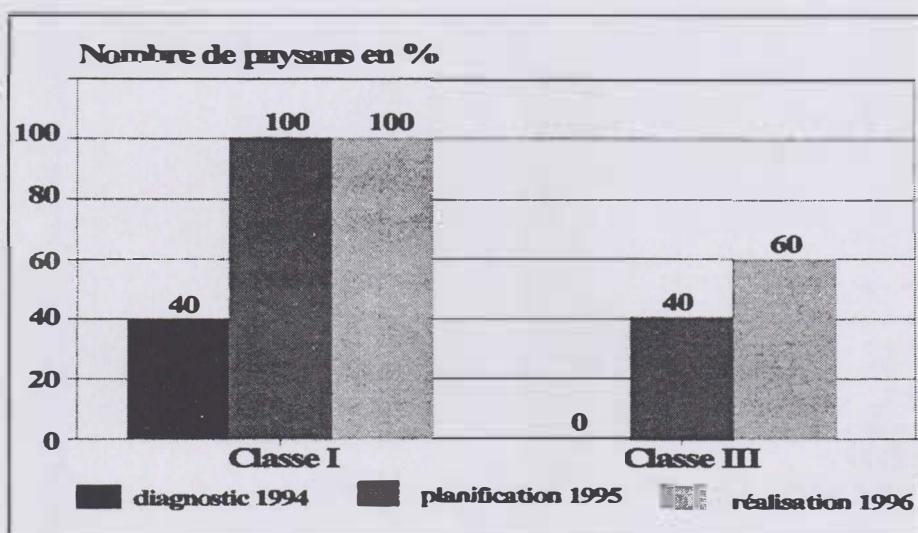


Figure 3. Recyclage de tiges de céréales comme litière.

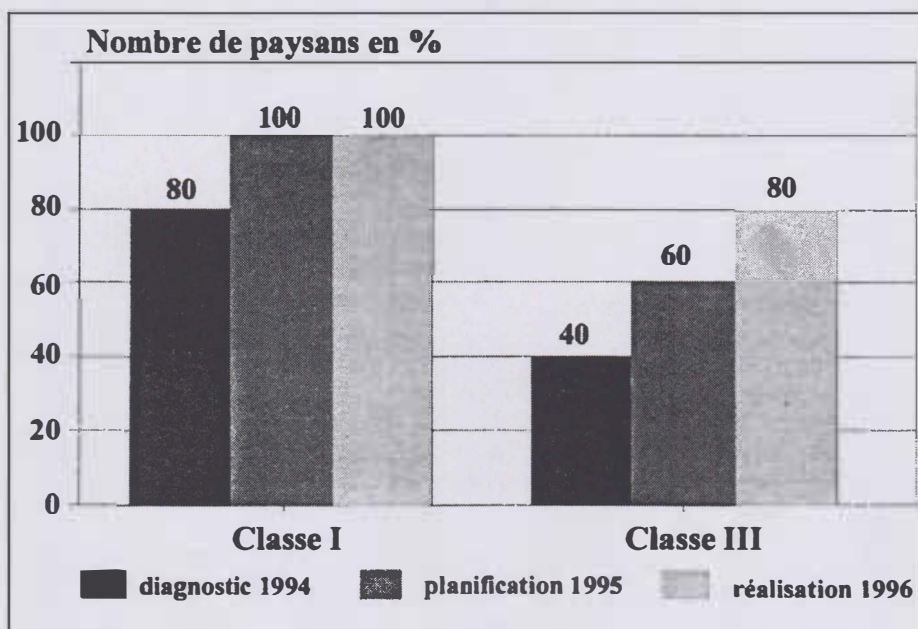


Figure 4. Recyclage de tiges de céréales comme fourrage.

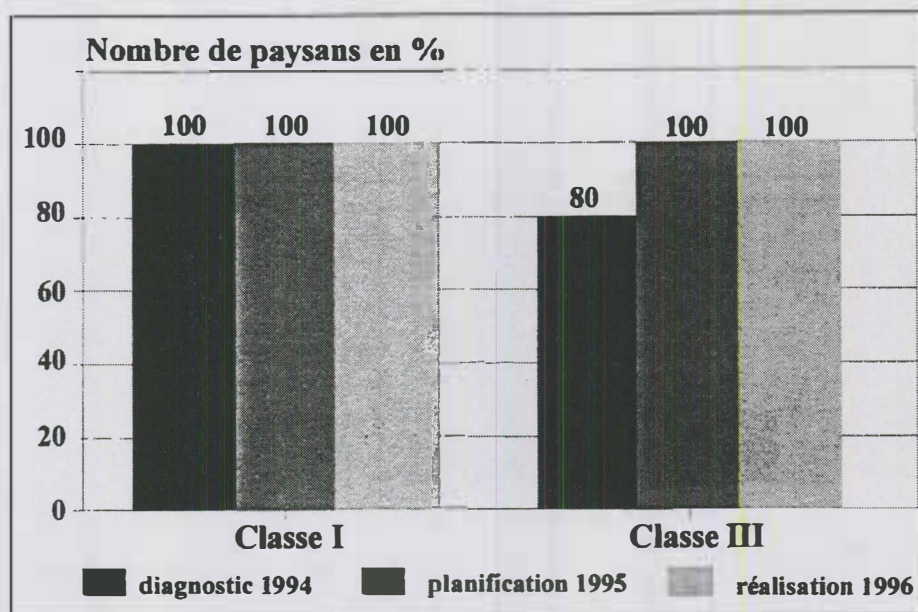


Figure 5. Compostières près des maisons.

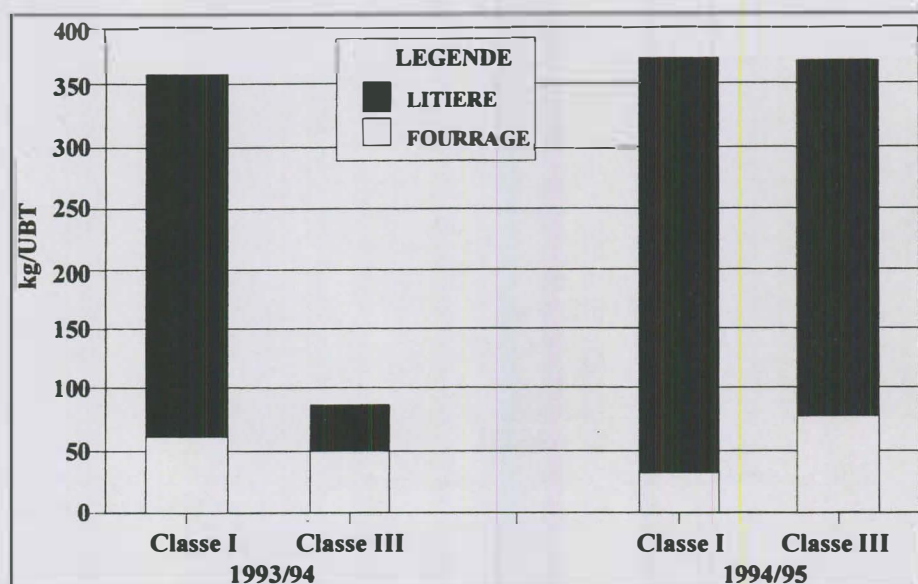


Figure 6. Recyclage des résidus de récolte par Ubt, par classe et par an.



Figure 7. Production de fumier par Ubt, par classe et par an.

Tableau II. « Nouvelles » actions planifiées et réalisées après le diagnostic.

Actions proposées aux paysans dans le cadre de l'amélioration de la gestion de la fertilité	Actions planifiées et réalisées par classe en nombre de paysans						
	Classe I			Classe III			Paysans hors test
	Planifiées	Réalisées	Taux de réalisation en %	Planifiées	Réalisées	Taux de réalisation en %	Réalisées
Compostière près des champs	5	4	80	4	1	25	4
Fosse fumière	3	2	67	0	0	0	3
Stockage des résidus de récolte dans le grillage	5	5	100	4	4	100	1
Hachage des tiges de céréales	5	4	80	4	1	25	2
Labour sur courbe de niveau	2	2	100	2	1	50	0
Culture fourrage (maïs/dolique)	5	5	100	5	3	60	5
Culture sur jachère à améliorer (stylo)	4	2	50	3	1	33	1
Épandage du Pnt dans compost et parc	3	2	67	3	1	33	1
Démonstration prémix et métocour	5	5	100	5	4	80	8

Echantillon : classe I = 5 ; classe III = 5 ; classe II = 2 (non pris en compte).

Tableau III. Comparaison des réalisations des campagnes 1993/1994 et 1994/1995.

Paramètres	Classe I			Classe III		
	1993	1994	variation	1993	1994	variation
Brûlis en % par rapport à la production totale	21	14	- 7	63	18	- 45
Total résidus recyclés kg/ha	771	890	+ 119	65	354	+ 289
Quantité moyenne Fo utilisée en tonne	3,6	4,2	+ 0,6	1,6	3,4	+ 1,8
Quantité moyenne Fo utilisée sur coton en kg/ha	755	922	+ 167	1 002	692	- 310
Nombre d'exploitations	5	5				

Comparaisons sur les classes I et III (car la II ne comporte que deux exploitations).  
Classe I = gestion bonne ; classe II = gestion moyenne ; classe III = gestion faible.  
Fo = fumure organique.

En général, les doses d'urée et de complexe utilisées sur le coton sont, indépendamment de la classe, supérieures à la norme vulgarisée. Ceci est une pratique courante dans le village de Noyaradougou et est née, selon certains paysans, du constat que les rendements en coton sont meilleurs sur les parcelles ayant reçu des doses élevées de fumure minérale. Les céréales sont peu fertilisées et la différence entre les classes était notable en 1994. Toutefois, une augmentation de la fertilisation des céréales est constatée en 1995, pour l'urée comme pour le complexe céréale. A nouveau, le taux d'augmentation est plus élevé dans la classe III (tableau IV).

Après évaluation des actions planifiées pour la campagne 1994/1995, les paysans ont de nouveau planifié les actions à mener au cours la campagne 1995/1996. Ceci conduit à un cycle de planification, exécution et évaluation (figure 8).

## Perspectives

### Perfectionnement de l'approche par la recherche

La recherche, pour perfectionner cette approche, doit :

- alléger la méthode en choisissant des critères pertinents et facilement reconnus par les utilisateurs ;
- identifier des « indicateurs de durabilité » sur la base des critères retenus ;
- mettre l'accent sur une plus grande quantification des flux de produits, tout en ne perdant pas de vue l'aspect participation des populations ;
- faire le diagnostic de la durabilité des systèmes de production en procédant à une évaluation pluriannuelle des flux de produits (bilan des entrées et sorties) par exploitation et par classe d'exploitation.



Tableau IV. Evolution de l'utilisation des engrais minéraux par classe et campagne (1993/1994 et 1994/1995).

Paramètres	Classe I			Classe III		
	1993	1994	variation	1993	1994	variation
Urée sur coton kg/ha	74	69	- 5	71	70	- 1
Cco sur coton kg/ha	150	159	+ 9	183	165	- 18
Urée sur céréales kg/ha	54	74	+ 20	18	45	+ 27
Cce sur céréales kg/ha	50	82	+ 32	18	56	+ 38
Nombre d'exploitations	5	5				

Classe I = gestion bonne ; classe II = gestion moyenne ; classe III = gestion faible.  
Cco = complexe coton ; Cce = complexe céréale.

Simplification de l'approche pour le développement

Le développement d'une approche participative devant permettre aux paysans et à l'encadrement d'assurer la durabilité des systèmes de production à travers l'amélioration de la gestion de la fertilité des sols passe nécessairement par la mise au point d'une approche simple, adaptée aux réalités paysannes et facilement applicable par l'encadrement. La prise en compte des limites des ressources humaines est indispensable. Ainsi, un comité de réflexion regroupant chercheurs et vulgarisateurs a été créé pour améliorer l'outil de conseil de gestion de l'exploitation, utilisé par la Cmdt, en intégrant la phase diagnostic-analyse de cette approche. A cet effet, seuls les critères dont la pertinence est reconnue par les utilisateurs ont été retenus pour différencier les exploitations sur le plan de la gestion de la fertilité. Ce sont : l'équipement, le nombre de bovins, le nombre d'actifs, la quantité de fumure organique produite et utilisée (recyclage des résidus de récolte), la quantité de fumure minérale utilisée, les rotations incluant jachère et/ou légumineuses et la lutte antiérosive. Toutefois les réflexions se poursuivent sur les possibilités d'ajouter ou supprimer certains critères et sur l'allègement des conditions de choix des exploitations représentatives des classes.

Appréciation de l'approche par les paysans

L'aspect recherche-action de l'approche fut bien apprécié par les paysans qui sont les premiers bénéficiaires. Ils sont intéressés par les cartes d'exploitation qui leur permettent non seulement de voir sur papier les principales contraintes de leur exploitation en matière de gestion de la fertilité, mais aussi de planifier sur carte les solutions appropriées. La planification des solutions incite à leur mise en place. La

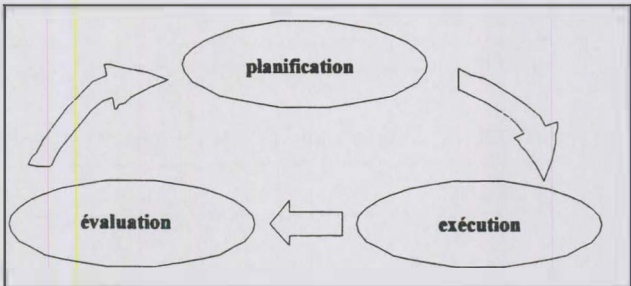


Figure 8. Cycle planification/exécution/évaluation.

restitution au village des résultats issus de l'évaluation des stratégies des exploitations représentatives des classes, permet aux paysans d'apprécier les points forts et faibles de leurs stratégies par rapport aux autres et les sensibilise davantage à la prise de mesures d'amélioration de gestion de la fertilité.

L'appropriation de l'approche par l'équipe technique de l'association villageoise (Etav) ne pose pas de problème dans la mesure où certains agents ont été associés à l'exécution de toutes les phases. Un membre de l'Etav de Noyaradougou participe même à la formation des paysans et des Etav d'autres villages. Les paysans peuvent maîtriser cette approche, cela a été démontré par l'un d'eux lors d'un comité des utilisateurs où il a exposé sa carte d'exploitation en expliquant sa stratégie de gestion de la fertilité (rotation, recyclage des résidus de récolte, production et utilisation de la fumure organique, utilisation de la fumure minérale, etc.).

Conclusions et suggestions

Des résultats obtenus, il ressort que la classe I exécute beaucoup d'actions d'amélioration de gestion de la fertilité et qu'elle a été de loin la meilleure

en 1994. Toutefois la classe III, grâce aux efforts fournis en 1995, a atteint un niveau de recyclage des résidus et d'utilisation de la fumure organique et minérale satisfaisant. La classe III, en raison de ses moyens limités doit, pour être efficace, orienter ses efforts sur des actions prioritaires.

Cette approche permet de former et de sensibiliser les paysans sur les possibilités d'améliorer leur gestion de la fertilité des sols à travers une réduction des brûlis, un meilleur recyclage des résidus de récolte et la mise en place de mesures de lutte antiérosive. Cette sensibilisation a beaucoup joué sur l'obtention des bons résultats enregistrés par la classe III en moins d'un an.

L'approche en cours d'élaboration a donc donné des résultats satisfaisants après une année de test. Par sa rapidité, ses outils participatifs et visuels, elle a été appréciée par tous ceux qui l'ont appliquée sur le terrain. L'encadrement la considère comme un puissant outil d'animation, tandis que les paysans la considèrent comme un bon outil de sensibilisation en matière de gestion de la fertilité.

Les critères qui sont communs aux différents villages peuvent être utilisés pour le perfectionnement futur de l'approche et pour faciliter son utilisation par l'organisme de développement. L'évolution de ces critères devra être suivie au fil des ans, afin de retenir les indicateurs de durabilité les plus pertinents et les mieux reconnus par les paysans.

## Références bibliographiques

CRRA, Sikasso, 1995. Thèmes de recherche sollicités par la commission des utilisateurs des résultats de recherche de Sikasso.

DEFOER T., KANTE S., HILHORST T., DIARRA S., BAGAYOKO S., BENGALY M'PIE, TRAORE M., 1995. Vers une approche « Gestion de la fertilité des sols ». Document n° 95/07, Espgrn, Sikasso, Mali.

ESPGRN, Sikasso, 1995. Comité technique régional de la recherche agronomique. Résultats du programme systèmes de production et gestion des ressources naturelles. Campagne 1994/1995. Document n° 95/02.

KANTE S., DEFOER T., BENGALY A., 1993. Description et utilisation des toposéquences. Rapport d'étape. Drspr/ler.

TRAORE B., 1993. Bilan de la fertilité des sols en zone cotonnière au Mali. Communication atelier Respao (Réseau d'étude des systèmes de production en Afrique de l'Ouest). Bobo-Dioulasso (Burkina Faso).

Van der POL, 1992. Soil mining : An unseen contributor to farm income in southern Mali. Bulletin Kit n° 325. Institut Royal des tropiques (Kit), Amsterdam, Pays-Bas.

# Méthode d'aménagement en courbes de niveau à l'échelle du champ

J. GIGOU

Icrisat-Cirad, BP 320, Bamako, Mali

**Résumé** — L'échelle du champ peut paraître paradoxale pour des aménagements en courbe de niveau, car l'eau ruisselle du haut vers le bas de la pente. Mais les droits fonciers sur les champs sont bien établis, ce qui compense largement les difficultés techniques particulières. Dans une démarche de type « recherche-action », une série de tests d'aménagements a été réalisée dans des champs de paysans volontaires où, après un diagnostic de situation, les courbes de niveau ont été matérialisées par des ados en terre, enherbés, réalisés à la charrue à bœufs et complétés à la main. Le piquetage de ces courbes de niveau est fait directement sur le champ, sans levé topographique préalable et sans qu'il soit nécessaire de faire appel à des topographes spécialisés. La culture en billons de niveau permet alors de conserver l'eau et le sol. Dans la région Mali-Sud, elle est possible sans modifications importantes des autres techniques de cultures employées. Chaque fois que nécessaire, des dispositifs permettent d'évacuer l'eau qui arrive de l'amont et de drainer l'eau en excès. Les questions des paysans ont porté fréquemment sur des problèmes d'excès d'eau ou de ruissellement excessif. C'est finalement toute la maîtrise de l'eau pluviale qui intéresse les paysans, soit pour la conserver et l'utiliser au mieux, soit pour évacuer les excès en faisant le moins de dégâts possibles.

**Abstract** — Contour cultivation technique applied at the field level. Employing contour cultivation at the level of the field may seem inappropriate since water runs down the slope irrespective of field boundaries. But traditional land tenure gives extensive rights to the farmer in his own fields, which can do more than compensate for specific technical difficulties. In this action-research type experimentation, fields of volunteer farmers were converted to contour cultivation following diagnosis of the problems resulting from runoff. Permanent contour lines consisting of earth ridges were made by oxen-drawn plow, completed by hand and finally covered with grass. The mapping of contour lines is directly made in the farm without any topographic aid and without the services of a topographer. Cropping on ridges along contour lines therefore permits water and soil conservation. In Mali-Sud, the southeastern region of Mali, it can be used without significantly modifying existing cropping techniques. When necessary, ditches are dug to drain running water from upper slopes and excess run-offs. Farmers

concern dwelt mostly on the problems of excess water or excessive run-offs. Indeed, they are interested on the control of rainwater, either to store it for better uses, or to drain what is in excess with the least possible damage to crops.

L'échelle du champ peut paraître paradoxale pour des aménagements en courbe de niveau. En effet l'eau ruisselle du haut vers le bas de la pente et il semblerait, à priori, plus logique de concevoir les aménagements à l'échelle du versant tout entier ou du village (Ctft, 1969 ; Hijkoop et Van der Poel, 1989). Cependant, les droits fonciers sur un versant sont répartis entre de nombreux paysans et des éleveurs, qui n'ont pas tous les mêmes intérêts pour un aménagement global. Dans de très nombreux cas, il est difficile de réaliser un aménagement global et de l'entretenir pour qu'il fonctionne correctement (Marchal, 1986 ; Delisle et Jacob, 1995).

Au contraire, le chef d'exploitation a des droits fonciers bien reconnus et peut décider librement des techniques qu'il appliquera sur ses propres parcelles, si bien qu'il est plus facile de mettre en œuvre des solutions à l'échelle de la parcelle. Cependant, un certain nombre de précautions doivent être prises pour maîtriser les eaux venant de l'amont, quand il y en a, et pour évacuer les éventuels excès d'eau de la parcelle.

Cet article explique les méthodes pratiques pour le diagnostic de terrain et la réalisation des aménagements, telles qu'elles ont commencé à être appliquées dans le cadre d'un test d'aménagement de champs de paysans, conduit suivant les principes de la « recherche-action » (Vallerand, 1994), en commun avec la Cmdt (Compagnie malienne des textiles) et l'Ier-Espgrn (Institut d'économie rurale - Equipe systèmes de production et gestion des ressources naturelles). Les observations de l'année 1996



ont permis de préciser les modalités pratiques d'application des principes exposés en octobre 1995 à l'atelier de Bobo Dioulasso (à paraître).

## Conditions de réalisation des aménagements

Les aménagements des champs intéressent les paysans uniquement s'ils permettent d'améliorer les productions sans induire des contraintes importantes. Les conditions de l'agriculture de la région Mali-Sud sont favorables à ces aménagements, à condition de s'adapter aux objectifs et aux situations de chaque paysan.

### Orienter les billons suivant les courbes de niveau

Dans la région Mali-Sud, les paysans utilisent des techniques de culture sur billons, soit par billonnage direct en début de saison des pluies et semis sur les billons (région de Fana), soit par semis à plat en ligne et buttage en cours de culture. Ces techniques adaptées à la culture attelée ont presque complètement remplacé les techniques manuelles traditionnelles de cultures sur buttes. S'ils sont bien orientés, ces billons peuvent être un bon moyen pour retenir l'eau et la faire infiltrer. C'est pourquoi les services de vulgarisation ont conseillé de les placer perpendiculairement à la pente principale. Mais les paysans ont constaté que cela était dangereux quand la surface du sol était ondulée : les billons rectilignes conduisent alors l'eau vers les points bas, où elle déborde, ce qui peut créer des ravines. En conséquence, ils préfèrent orienter leurs billons dans le sens de la pente ou dans un sens oblique par rapport à la plus grande pente, de telle façon qu'il n'y ait pas de contre-pente et que l'eau puisse s'écouler dans les sillons interbillons. Ce système évite la formation des ravines, mais il entraîne

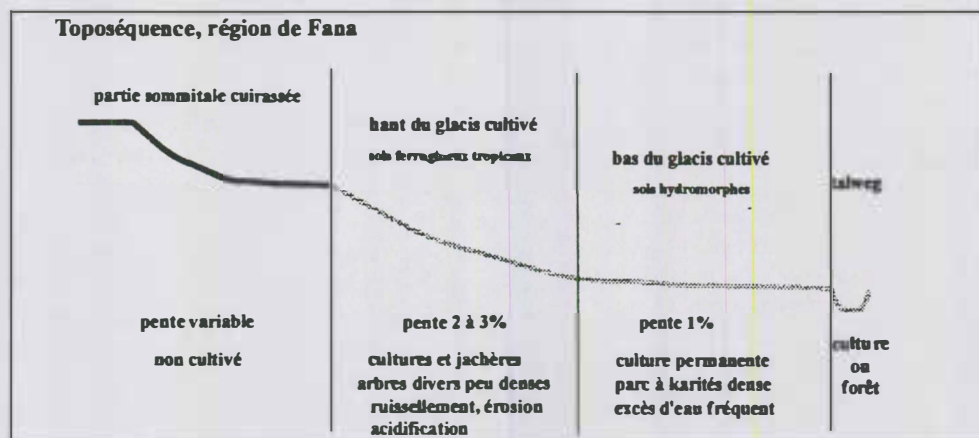
la perte d'eau par ruissellement et une érosion différentielle entre les billons, où le ruissellement laisse le sable appauvri en matière organique et en argile.

Les billons en courbes de niveau, permettent de conserver l'eau, sans faire apparaître des points bas fragiles, et donc de limiter considérablement l'érosion. Cependant, le paysan ne peut suivre la courbe de niveau que si elle est matérialisée sur le champ, par exemple par un fossé, un cordon pierreux ou un alignement d'arbres. Inversement, en culture attelée ou même en petite motorisation, les paysans n'éprouvent pas de difficultés pour réaliser leur billons ou leurs semis au semoir en suivant les courbes de niveau bien matérialisées.

### Prendre en compte la diversité des situations

Dans un même village et sur un même versant, les problèmes à traiter varient en fonction du sol et de la position topographique. Ainsi, dans la région de Fana ou entre Sikasso et Koutiala, on observe souvent des toposéquences, schématisées sur la figure 1, qui font apparaître simultanément des problèmes liés au ruissellement et à l'érosion dans les parties les plus hautes et d'autres liés à l'excès d'eau dans les parties basses.

Sur les champs, où des tests d'aménagement ont été réalisés, les problèmes d'érosion en ravines ou de ruissellement interbillon avec érosion différentielle des éléments fins ont évidemment été les plus fréquents. Cependant, dans au moins un quart des cas, il n'y avait pas de problème grave d'érosion, mais soit un fort ruissellement, sur un sol en pente faible avec une croûte superficielle peu perméable, soit un excès d'eau pendant les périodes très pluvieuses. Un cas de sédimentation de sable dans un champ cultivé en coton a même été observé. Les réponses doivent donc s'adapter à ces différentes situations.



**Figure 1.** Schéma d'une toposéquence cultivée fréquente dans la région de Fana au Mali. La longueur est de un à deux kilomètres et la dénivellée de quelques dizaines de mètres.

## S'adapter aux contraintes des exploitations agricoles

Les exploitations agricoles sont très variables en fonction de leur force de travail disponible et de leur équipement, mais aussi des objectifs poursuivis par le chef d'exploitation et par les différents membres de l'exploitation. Ainsi certaines exploitations recherchent un aménagement aussi complet que possible, alors que d'autres se contentent d'un simple fossé de dérivation qui évite les dégâts les plus visibles. Parfois le chef d'exploitation demande un aménagement qui n'est pas souhaité par les autres membres et ne sera pas correctement réalisé.

Quand la force de travail est faible, il faut prévoir d'étaler la réalisation des travaux sur un plus grand nombre d'années. La mortalité des bœufs réduit considérablement la capacité de travail de l'exploitation, ce qui peut obliger à remettre à plus tard un aménagement prévu ou même déjà partiellement réalisé.

Pour toutes ces raisons, il est généralement préférable de commencer par l'aménagement d'une petite surface, un ou deux hectares, la première année, puis de compléter progressivement sur l'ensemble de l'exploitation pendant les années suivantes. Quelle que soit la méthode utilisée, l'aménagement est toujours une œuvre de longue haleine (Van Campen, 1991 ; Hijkoop *et al.*, 1991).

## S'insérer dans le calendrier culturel

Au début de la saison des pluies, la priorité des paysans va aux semis puis aux sarclages. Cette période conviendrait parfaitement pour la réalisation des aménagements antiérosifs, mais ces travaux doivent céder la priorité aux semis. Cela oblige donc à prévoir des travaux dans les périodes moins chargées du calendrier agricole, même si elles sont moins

favorables. Les pluies très précoces, avant la période des semis, conviennent bien, mais certaines années, les travaux prévus à cette période ne peuvent pas être faits, faute de pluie.

Pour respecter cette priorité aux travaux agricoles, les méthodes d'aménagements doivent être adaptées. Par exemple, il serait complètement irréaliste de conseiller de fabriquer de beaux ados en terre, bien damés en période humide et talutés suivant un gabarit prédéterminé. Au contraire, l'ados réalisé au départ est généralement très modeste et il se tassera spontanément pendant la saison des pluies. Il subira probablement quelques cassures au moment des plus grosses pluies, mais en les réparant on pourra augmenter la taille de l'ados dans les points faibles et le rendre progressivement plus solide. Dès la première année, ce petit ados est suffisant pour marquer la courbe de niveau et permettre l'orientation de niveau des billons. Tous ces travaux restent compatibles avec le calendrier agricole.

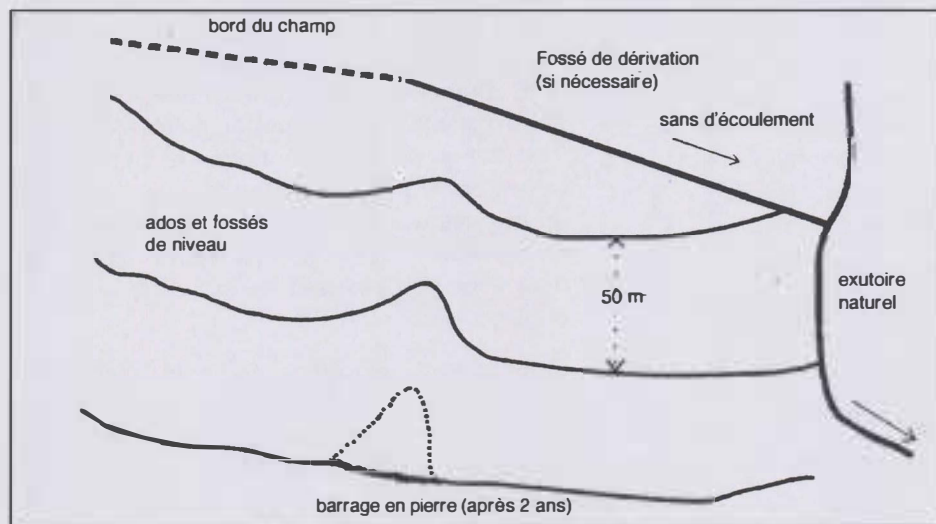
## Méthode d'aménagement des champs

### Principe de l'aménagement

L'aménagement d'un champ situé au milieu d'un versant où les autres champs ne sont pas aménagés présente deux caractéristiques spécifiques :

- il peut recevoir de l'eau venant de l'amont ;
- il peut fournir un excès d'eau à évacuer vers l'aval.

Aussi l'aménagement doit prévoir des ouvrages de diversion de l'eau chaque fois qu'il en arrive de l'amont et, s'il y a un excès d'eau, choisir des exutoires et éventuellement les agrandir ou les rectifier (figure 2).



**Figure 2.** Schéma d'aménagement d'un champ en courbe de niveau.

Ensuite l'ensemble du champ est aménagé en courbes de niveau, matérialisées en général par des ados et fossés enherbés. Toutes les opérations culturales seront ensuite faites suivant les courbes de niveau et en particulier le billonnage, le semis et les buttages, ce qui permet une rétention maximum de l'eau entre les billons et son infiltration. Les billons restent ouverts aux extrémités, pour permettre l'écoulement de l'excès d'eau vers les zones d'écoulement naturel.

Le rôle de l'ados de niveau n'est pas de retenir toute l'eau, ce qui demanderait un terrassement important, mais de marquer de façon permanente la courbe de niveau pour que les billons la suivent. L'essentiel de l'effet de l'aménagement est dû à ces billons en courbes de niveau qui retiennent l'eau et la forcent à s'infiltrer, ce qui d'une part permet une meilleure alimentation en eau des cultures et d'autre part diminue fortement le ruissellement et l'érosion. Cette technique est facilement acceptée des paysans car elle améliore leur technique traditionnelle de culture sur billons.

Les dénivelés et les distances entre courbes sont schématisés sur la figure 3. La distance entre deux courbes successives est  $L_1$  correspondant à 80 cm de dénivelé si la pente est suffisante pour que  $L_1 < 50$  m et  $L_2 = 50$  m dans le cas contraire. Le passage de l'un à l'autre correspond donc à une pente de 1,6 %, mais dans notre méthode de piquetage des courbes directement au champ, cette pente n'a pas besoin d'être mesurée.

## Diagnostic de situation avant aménagement

### Principe

Avant tout aménagement, le vulgarisateur, responsable de l'aménagement, doit faire avec le paysan un diagnostic de la situation de son champ, des écoulements de l'eau et des problèmes d'érosion, ou éventuellement des défauts d'infiltration et excès d'eau, afin de proposer des solutions. Pour être compatible avec la vulgarisation à grande échelle, ce diagnostic doit être réalisé avec des moyens très simples : le témoignage du paysan et les observations qui peuvent être faites lors d'une simple visite du champ avec le paysan, sans instruments complexes.

La partie à aménager couvre en général un champ isolé ou un groupe de champs contigus appartenant à une seule exploitation. Parfois plusieurs paysans voisins demandent un aménagement coordonné, ce qui peut simplifier l'organisation de la circulation de l'eau. Cependant, s'il n'y a pas de demande spontanée, il vaut mieux éviter de proposer des aménagements communs à plusieurs paysans, car ce pourrait

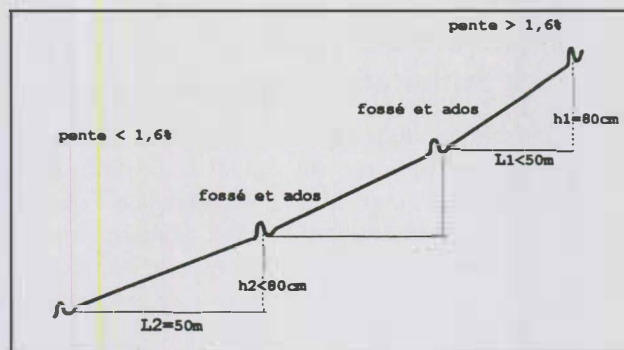


Figure 3. Distance entre les courbes de niveau suivant la pente.

être une source de conflits ultérieurs. Le diagnostic doit tenir compte des champs voisins et des zones cultivées environnantes pour repérer les arrivées d'eau de l'extérieur et choisir les exutoires.

Le diagnostic permet de reconstituer la circulation de l'eau dans le champ et autour du champ. Des solutions peuvent alors être proposées pour chaque problème. Il s'en dégage un schéma global d'aménagement, qui pourra être réalisé progressivement, sur plusieurs années.

### Circulation de l'eau

La première étape du diagnostic consiste à reconstituer la circulation de l'eau, ce qui est possible sur le champ, même en saison sèche, grâce aux déclarations du paysan et aux traces sur le sol. Ainsi on observera successivement : les ravines et rigoles, l'eau venant de l'amont, le ruissellement diffus et les excès d'eau.

#### LES RAVINES ET RIGOLLES

Ce sont les marques les plus visibles de la circulation de l'eau et leur observation permet de répondre à plusieurs questions utiles pour le diagnostic.

Y a-t-il des ravines ou des rigoles ? Il n'y en a pas quand la circulation de l'eau est peu concentrée. S'il y en a, il faut les suivre en remontant la pente. Quand elles prennent naissance à l'intérieur du champ, l'aménagement en courbes de niveau, en augmentant l'infiltration de l'eau, permettra de diminuer considérablement leur débit et souvent de les faire disparaître après quelques années. Par contre, si leur origine est en amont du champ, alors il faudra soit les conserver pour évacuer l'eau, soit les dériver vers les exutoires choisis.

Quelles sont les formes des ravines ? Elles peuvent être encaissées en U, évasées en V, aplaties. Il faut observer leur profondeur, leur largeur, l'état des berges (cultivées, sarclées ou couvertes de végétation).



Y a-t-il des traces d'évolution actuelle ? Une ravine évolue dans le temps. Elle creuse à l'amont, s'élargit plus bas par érosion des berges et se remplit de sable à l'aval. Le système dans son ensemble « remonte » la pente, jusqu'à ce qu'il trouve une couche dure, roche ou cuirasse qui empêche le creusement.

Y a-t-il dépôt de sable dans le fond de la ravine ? Cette sédimentation indique que la ravine ne creuse plus dans cette zone. Mais il peut y avoir au contraire un excès de dépôt de sable qui entraîne le déplacement de la circulation de l'eau vers le champ voisin, avec des risques d'une part de l'érosion de la bonne terre et d'autre part de dépôts de sable stérile, deux choses gênantes pour la culture.

Quelles mesures anti-érosives ont été réalisées et quel a été leur effet ? Il est fréquent que les paysans essayent d'arrêter les ravines par des méthodes traditionnelles (dépôts de branchages, etc.) ou conseillées par la vulgarisation (barrages en pierres, fascines). Suivant les cas, il peut en résulter un dépôt d'alluvions et la stabilisation de la ravine, ou au contraire son déplacement de quelques mètres vers le champ voisin où elle érode fortement.

#### L'EAU VENANT DE L'AMONT

L'eau peut arriver sous forme de ruissellement concentré, en formant des ravines bien visibles ou bien de ruissellement diffus, plus difficile à repérer, mais qui laisse des petits dépôts de sable ou des traces d'arrachement de terre sur la limite du champ cultivé. Souvent le ruissellement diffus se concentre à l'intérieur du champ, en suivant les billons, jusqu'à former des rigoles puis des ravines.

#### LE RUISSLEMENT DIFFUS

C'est le ruissellement qui n'est pas concentré. Il peut se produire dans le milieu naturel, sur des surfaces dures ou couvertes de végétation, ou dans les champs cultivés à plat, quand une croûte dure s'est formée. Dans les champs cultivés en billons, l'eau circule entre les billons, sans se concentrer, mais elle peut parfois déborder d'un billon à l'autre.

Pour repérer le ruissellement diffus, il faut chercher les traces des mouvements de terre qui peuvent l'accompagner : arrachement de terre, dépôt de sable dans les points bas, horizons sableux en surface, signe de l'érosion différentielle qui s'est produite (ancienne ou récente ?).

S'il n'y a pas de traces d'arrachement de terre ni de dépôts importants, alors il faut examiner l'hypothèse d'un ruissellement diffus sans érosion. Ce cas n'est pas rare, aussi bien dans les champs cultivés que sur les zones dénudées non cultivées, quand la pente est faible et que la surface du sol est durcie par une croûte parfois recouverte par une couche d'algues.

#### LES EXCÈS D'EAU

Ils sont marqués par la végétation, par l'eau qui stagne, par les dépôts d'argile et de limons. Le témoignage du paysan est important.

#### Schéma global de l'aménagement

Il faut envisager un schéma global de l'aménagement dès le départ, même si la réalisation doit se poursuivre sur plusieurs années. Pour cela il faut prévoir :

- l'évacuation de l'eau ;
- les fossés de dérivation en amont ;
- l'ordre de priorité des aménagements.

Ce n'est pas autour des ravines qu'il faut organiser l'aménagement, mais plutôt autour de la circulation de l'eau, car les ravines n'en sont qu'une conséquence. L'observation des ravines en place a permis de comprendre les problèmes et de proposer une solution globale. Le traitement qui sera réservé aux ravines dépendra de leur conservation ou non comme exutoire.

#### EVACUATION DE L'EAU

Quelques remarques de bon sens permettent de faire des choix judicieux :

- il faut évacuer l'eau qui vient de l'amont et l'eau en excès par rapport à ce qui peut s'infiltrer, de telle façon qu'elle ne fasse pas de dégâts et qu'elle gêne le moins possible les cultures ;
- s'il ne vient pas d'eau de l'amont et si le sol est perméable, on peut faire infiltrer toute l'eau qui tombe sur la parcelle et ne pas prévoir de système d'évacuation. Ce cas est fréquent dans les petits champs, l'aménagement se limite, alors, aux courbes de niveau ;
- les grandes ravines qui viennent de l'amont doivent soit, de préférence, être conservées et servir à l'évacuation de l'eau, soit être dérivées vers d'autres exutoires que l'on a décidé de conserver ;
- l'eau qui arrive de l'amont de façon diffuse, en excès par rapport à ce qui peut être infiltré, doit être dérivée vers les exutoires conservés ;
- l'excès d'eau des zones basses doit être drainé ;
- quand le sol est peu perméable, l'excès d'eau doit pouvoir s'évacuer sans dégâts.

#### CHOIX DES EXUTOIRES

On préférera les exutoires naturels les plus stables, à proximité immédiate du champ, ou à l'intérieur du champ. Ce choix doit tenir compte des contraintes pour établir les fossés de dérivation en amont et des contraintes de voisinage. Il faut choisir de préférence :

- les ravines principales ;
- les zones de passage de l'eau dans le fond des talwegs, qu'ils soient ravinés ou non ;

- les zones de végétation naturelle où l'eau circule sans éroder ;
- à défaut, on creusera un fossé d'évacuation, de préférence en bordure du champ ;
- dans les zones d'excès d'eau, on devra creuser un fossé de drainage.

Il y a généralement plusieurs solutions possibles. Il faut donc :

- laisser le choix au paysan, en lui précisant bien les avantages et les inconvénients de chaque solution proposée ;
- prévoir que le paysan pourra changer d'avis et, par exemple, vouloir supprimer ultérieurement une ravine d'abord conservée.

#### FOSSÉS DE DÉRIVATION À L'AMONT

Ils sont nécessaires quand de l'eau arrive de l'amont, en dehors des passages retenus comme exutoires. Ces fossés collectent les eaux du ruissellement diffus et des petites ravines non conservées et les dirigent vers les exutoires choisis. Il est souhaitable que leur pente soit d'environ 0,2 à 0,3 %, mais elle peut être plus forte pour un fossé qui suit le bord du champ.

Il est préférable de les installer sur le bord du champ, si la pente est régulière et si les « contre-pentes » ne dépassent pas 20 cm. Le fossé doit être creusé plus profondément dans les points hauts et l'ados renforcé dans les points bas pour que la pente finale soit régulière. Si la pente est faible, il faut le curer régulièrement pour enlever le sable qui se dépose. Si la pente est plus forte (0,5 % ou plus), l'eau peut recreuser le fond du fossé et il faut le laisser s'enherber rapidement et éventuellement fixer ses bords grâce à la végétation.

Si la pente au bord du champ ne permet pas cette disposition, on pourra faire passer le fossé de dérivation, en partie ou totalement soit hors du champ, dans des zones non cultivées et n'appartenant pas à un autre paysan, soit à l'intérieur du champ, en laissant hors de l'aménagement quelques petites zones, qui peuvent être plantées en cultures pérennes (arbres, fourrage).

#### COURBES DE NIVEAU

S'il n'y a ni ravine, ni fossé de dérivation, on trace les courbes de niveau à partir du point haut du champ. Sinon, toutes les parties du champ à l'aval des fossés de dérivation et entre les exutoires choisis pour l'évacuation de l'eau seront aménagées en courbes de niveau, mais les anciennes ravines dans ces zones ne seront récupérées que progressivement. Il faut interrompre les ados de terre au passage des anciennes ravines et l'on peut :

- soit laisser la ravine s'enherber, puis après quelques années, compléter les ados soit par des ados de terre, soit par des barrages en pierres, qui permettent le

passage de l'eau en excès lors des averses exceptionnelles ;

- soit compléter l'ados de niveau par un barrage en pierres, au moment de l'aménagement. Cet ouvrage freine l'eau sans l'arrêter et la culture devient possible dans la ravine. Si la ravine est aplatie et peu profonde, il vaut mieux attendre la deuxième année pour que l'ados de terre soit stabilisé, avant de faire ce barrage.

#### Choix des types d'ouvrages

Pour les courbes de niveau et les fossés de dérivation, on utilise principalement des ados enherbés avec un fossé amont (figure 4). Leur réalisation et leur entretien s'intègrent dans les autres techniques culturales sans problèmes particuliers. Leurs caractéristiques peuvent être résumées ainsi :

- réalisation rapide avec les bœufs (2 heures/ha), pas très longue avec la daba (environ 6 hommes-jours/ha) ;
- des entretiens sont nécessaires ;
- ils doivent être enherbés ou plantés avec des graminées pérennes, des arbustes, etc.

Dans les zones caillouteuses, on peut remplacer partiellement ou totalement des ados par des cordons pierreux, ce qui contribue à épierrier les champs. On utilise aussi des petits barrages en pierre pour rétablir la continuité des ados, dans deux situations :

- pour les réparations dans les points faibles où l'eau a rompu les ados ; en laissant passer un peu d'eau, lentement, ils permettent au système de se stabiliser ; on peut ensuite les recouvrir de terre pour rétablir la continuité de l'ados ;
- dans les ravines non conservées pour le passage de l'eau où ils sont installés, de préférence, après quelques années, lorsque le reste du champ est stabilisé ; à ce moment-là, un débordement par-dessus l'ados déjà enherbé risque peu de faire des dégâts.

#### Piquetage des courbes et fossés

##### PRINCIPE

Cette étape implique l'utilisation d'un appareil de topographie. Cependant il n'est pas nécessaire de rechercher une grande précision, si bien que le

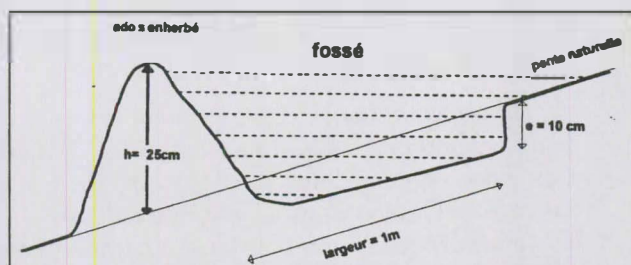


Figure 4. Schéma d'un fossé et ados faits à la main pour une courbe de niveau ou un fossé de diversion.



travail peut être fait, après une formation spécialisée, par des vulgarisateurs de base ou par des paysans (« équipe technique villageoise »). En effet, comme on cultive sur des billons, une précision de +/- 5cm sur l'altitude est suffisante. Le piquetage est fait directement au champ, sans levé topographique préalable et il n'est pas dressé de plan du champ après l'aménagement.

APPAREIL

Un niveau de chantier, de marque Wild, modèle NK1, est habituellement utilisé et avec lequel la vitesse du travail est d'environ 1 ha/heure.

Quand la pente est supérieure à 2 %, il est possible d'utiliser un niveau très simple, déjà vulgarisé au Mali, formé d'un tuyau de plastique transparent de 10 m de longueur, rempli d'eau, monté sur des règles de 1 m de hauteur à chaque extrémité (figure 5). Quand la pente est faible et à fortiori pour les travaux de drainage, avec ce niveau artisanal, le temps de travail devient long et la précision faible.

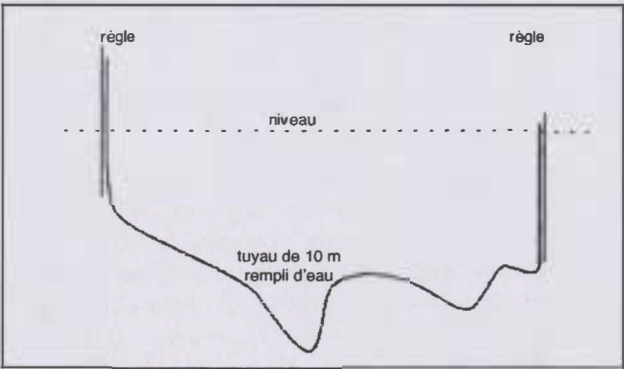


Figure 5. Principe du niveau à eau artisanal vulgarisé au Mali.

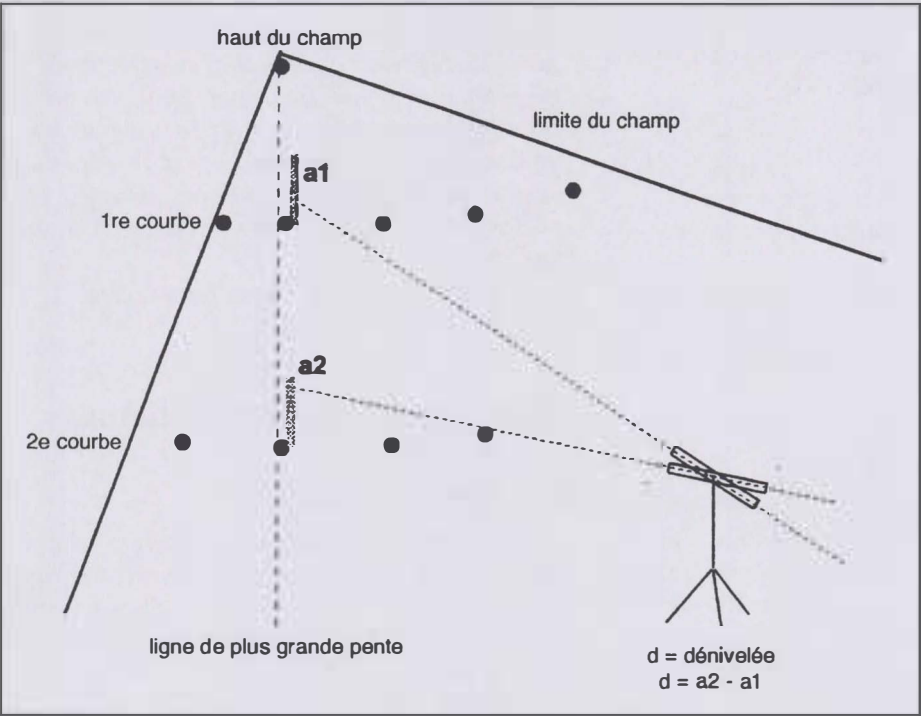


Figure 6. Principe du piquetage des courbes du niveau avec le niveau « Wild ».

PIQUETAGE DES COURBES DE NIVEAU

Pour réaliser le piquetage des courbes de niveau (figure 6), il faut partir du point le plus haut du champ, en suivant la plus grande pente et rechercher le point ayant une dénivelée de 80 cm. Si la distance entre le point haut et ce point est inférieure à 50 m, marquer ce point, puis tracer à ce niveau la première courbe.

Si la pente est faible, cette distance dépasse 50 m de largeur. Marquer alors le point à 50 m et prendre ce point comme base pour tracer la première courbe. Dans ce cas, la dénivelée entre le point haut et la première courbe est inférieure à 80 cm.

Sur la courbe, mettre un piquet chaque 10 mètres. Quand la première courbe est terminée, recommencer de la même façon pour la deuxième courbe, puis pour les courbes suivantes, jusqu'à la fin de la parcelle. Si une courbe présente des sinuosités importantes, il est possible de la régulariser, en utilisant la tolérance de +/- 5 cm sur l'altitude pour lui donner une courbure régulière qui ne gêne pas le travail aux bœufs. Pour cela, imaginer une courbe régulière qui passe à proximité des piquets. Déplacer les piquets pour les placer sur cette courbe proposée et vérifier qu'ils restent dans la marge de +/- 5 cm.

PIQUETAGE DES FOSSÉS DE DÉRIVATION

On utilise une méthode semblable à celle utilisée pour les courbes de niveau, mais en donnant une pente régulière au fossé. Ainsi si la pente choisie est de 3 %, et si l'on place les piquets en allant du haut vers le bas du fossé, on augmente de 3 cm la hauteur lue sur la mire chaque 10 m, d'un piquet au suivant.



## Réalisation et entretien des ouvrages

### Priorité des travaux

En général, l'aménagement doit être étalé sur plusieurs années, en fonction des capacités de travail de l'exploitation. Il vaut mieux, généralement, prévoir peu de travaux la première année, afin que le paysan et sa famille puissent s'habituer à ce nouveau travail sans se décourager. Pour que le travail se fasse de façon harmonieuse, il vaut mieux, également, commencer par les travaux en amont du champ, qui protègent aussi l'aval. On peut donc retenir l'ordre de priorité suivant :

- fossé de dérivation en amont ;
- courbes de niveau immédiatement à l'aval du fossé de dérivation ;
- courbes plus à l'aval ;
- fermeture des ravines intermédiaires, qui seront progressivement récupérées.

Dans les zones avec excès d'eau, que l'on doit donc drainer, on commence par le fossé de drainage, à partir de l'aval.

### Organisation et période des travaux

#### Principe

Les travaux pour la lutte contre l'érosion ne doivent pas trop perturber le calendrier de préparation des terres et ils ne doivent pas retarder les semis. Or, il est beaucoup plus facile de faire les ouvrages en terre, fossés ou ados, quand la terre est humide. Il faut donc organiser le travail en fonction des situations concrètes et du climat de l'année.

#### Travaux en saison sèche

Les travaux réalisables en saison sèche sont :

- les ouvrages en pierres, cordons pierreux et barrages en pierres ;
- des ouvrages en terre quand le sol est sableux et assez meuble. Les ados, non compactés, s'humectent et se tassent naturellement après les premières pluies.

#### Travaux lors des premières pluies

Des travaux peuvent être réalisés lors des premières pluies — de telles pluies existent presque tous les ans —, avant la période des travaux agricoles proprement dit. Si la pluie est forte, il est possible de faire complètement les ados et les fossés, ce qui permet à ces ouvrages de s'enherber avant la période très pluvieuse. Cependant, les bœufs ne sont pas toujours

disponibles à ce moment-là, car ils sont soit partis en transhumance, soit trop amaigris pour travailler.

Après une petite pluie, une ébauche de fossé ou d'ados peut être réalisée, qui permettra une meilleure infiltration des pluies suivantes et donc de recréer le fossé et d'augmenter l'ados, même si les pluies suivantes sont peu importantes. Le risque d'érosion de ces ébauches d'ouvrages existe, mais il n'est pas très élevé car la partie travaillée est très limitée.

### Intérêt des travaux aux bœufs

Un travail aux bœufs, à la charrue ou aux dents, ameublisse la terre, ce qui permet de la travailler plus vite à la main. En faisant plusieurs allers-retours à la charrue, toujours en adossant, il se forme un ados, à compléter à la main. Deux passages aller-retour donnent un petit ados, un peu plus gros qu'un billon. Cinq permettent d'obtenir déjà un gros ados.

Le choix des paysans est souvent de faire le maximum de travaux attelés et, en cas de mortalité des bœufs, il est fréquent que les travaux prévus ne soient pas réalisés.

### Réalisation des ouvrages antiérosifs pendant la saison des pluies

Il est possible de limiter les travaux avant la mise en place des cultures à de simples ébauches, puis de compléter les ouvrages pendant la saison des pluies. Par exemple, il suffit d'un billon pour marquer l'emplacement des courbes de niveau et installer les lignes de culture et les billons en suivant les courbes de niveau. De même, les fossés de drainage peuvent, sans inconvénient, être creusés pendant la saison des pluies.

Dès que les pluies permettent les semis, le paysan doit s'occuper en priorité de l'installation de ses cultures et il n'a plus de temps pour s'intéresser aux ouvrages antiérosifs. Mais il peut à nouveau y travailler, pour les compléter ou pour les réparer :

- au moment des sarclages et des buttages, où il peut compléter l'ados en même temps qu'il travaille sur ses cultures ;
- après les sarclages et avant les récoltes.

### Entretien des ouvrages antiérosifs

#### Installation des cultures

L'installation des cultures, en suivant la courbe de niveau, est la meilleure méthode d'entretien de l'aménagement antiérosif. Les cultures profitent de l'infiltration de l'eau de pluie et le ruissellement est limité, elles minimisent, ainsi, le risque de rupture des ouvrages antiérosifs.

Les lignes de semis doivent suivre exactement la courbe de niveau, pour qu'il n'y ait pas de points bas où l'eau risquerait de déborder et de casser les billons. Les billons de niveau peuvent être fabriqués dès le début de la saison des pluies, avant de semer sur leur sommet. Il est aussi possible de semer à plat puis de butter, à condition que le semis soit fait en suivant la courbe de niveau. Le buttage doit être fait dès que possible après la levée, afin que le système de billons soit en place avant la période très pluvieuse. La meilleure conservation de l'eau par les billons de niveau devrait permettre des semis plus précoces et une végétation allongée en fin de saison des pluies, ce qui fait espérer des rendements plus élevés et plus réguliers.

### Réparation et entretien des ados

La première année, la terre fraîchement remuée est fragile et les ados se rompent toujours plus ou moins au moment des grandes pluies. Le paysan peut réparer les petites cassures avec la terre, en faisant un ados un peu plus gros. Avec le tassement et l'enherbement des ados, ce risque disparaîtra progressivement.

Il existe souvent quelques points fragiles où il se produit de grosses cassures, qui peuvent être réparées selon les méthodes suivantes :

- un barrage en pierres formé de gros cailloux, mais aussi de petits cailloux dans les trous entre les gros, afin que l'eau s'écoule lentement, ce qui limite les risques d'érosion à l'aval ainsi que les débordements par-dessus l'ados de terre à côté de la réparation ; le sable transporté par l'eau se dépose dans le fossé à l'amont de l'ados, que l'on devra curer régulièrement ;
- un ados renforcé de cailloux, ou un barrage en pierres recouvert de terre : cette solution permet d'obtenir un ados plus solide qu'un simple ados de terre ;
- les débris végétaux, morceaux de bois ou herbes du sarclage, n'ont généralement pas un effet favorable, car ils flottent au-dessus de l'eau et ne l'arrêtent pas ; cependant, dans deux circonstances, ils peuvent être efficaces : les herbes du sarclage posées sur un cordon pierreux et des pailles lestées par des cailloux, qui ralentissent et filtrent l'eau qui ruisselle.

Dans les zones sans cailloux, on peut refaire un gros ados de terre, nettement plus élevé que l'ados voisin, en fin de saison des pluies, quand la terre est encore humide : il se tasse pendant la saison sèche, il se couvre de végétation et devient beaucoup plus solide l'année suivante.

Indépendamment des réparations des cassures, les ados doivent être entretenus. Il est nécessaire :

- d'augmenter leur hauteur pendant les premières années et de renforcer les points faibles ; c'est surtout

important pour les petits ados au départ. On peut utiliser les mêmes méthodes que pour la réalisation initiale des ados, à la main ou aux bœufs ;

- d'entretenir une végétation abondante ;
- de remonter les ados tous les 5 ou 6 ans, car ils s'usent (pluies, passage des animaux, travail des champs).

### Végétation des ados, des fossés et des berges des ravines

Il est recommandé qu'une végétation abondante recouvre en permanence les zones où le ruissellement pourrait faire des dégâts. Plusieurs solutions sont possibles, suivant les objectifs des paysans.

L'enherbement spontané est une bonne solution. Cependant ces herbes peuvent devenir gênantes quand certaines espèces d'adventices envahissent les cultures voisines.

Tous les fourrages peuvent convenir (*Panicum*, *Stylosanthes*, etc.).

Les plantations de graminées pérennes se prêtent à ce recouvrement et en particulier, *Andropogon gayanus*, une graminée spontanée bien connue des paysans. Cette graminée peut être repiquée par éclats de souches, reprend bien, couvre bien le sol (assez lentement la première année) et n'est pas une mauvaise herbe, car ses graines ne lèvent pas dans les champs cultivés.

Les cultures des ados peuvent être, également, une très bonne solution, surtout s'il s'agit d'une culture qui couvre bien le sol, à condition, néanmoins, que l'on ne réduise pas l'ados par le sarclage ou la récolte, mais que, au contraire, tous les travaux soient faits dans le sens de l'augmentation de l'ados (buttage, etc). On peut utiliser la même culture que dans le champ (coton, maïs, etc.), ou une autre culture, de préférence semée à une date nettement différente (maïs très précoce, gombo, niébé, sorgho, condiments, etc.).

Les plantations d'arbres ou d'arbustes sont possibles à condition de choisir des espèces utiles pour le paysan et qui ne gênent pas trop les cultures. Ils ont souvent un effet moindre que les herbes contre l'érosion, mais ils marquent de façon à peu près définitive les courbes de niveau et les limites des champs. Des problèmes de droit foncier peuvent néanmoins surgir.

## Exemples d'aménagements

### Champs de Broulaye Diarra à Kono-bougou (région de Fana)

Il s'agit de deux champs contigus, séparés par une bordure enherbée, d'une surface totale d'environ



7 ha, cultivés depuis très longtemps (80 ans, mais avec des périodes de jachère jusque dans les années 1980). Ils sont situés à la limite entre les parties hautes et basses du glacis cultivé. Dans la partie haute, la pente est bien marquée (2 à 4 %), l'horizon de surface est sableux et de couleur jaune rougeâtre. À environ 30-40 cm de profondeur, on trouve un horizon argileux, rouge, très poreux. Le sol est très profond et perméable. Sous culture, de nombreuses rigoles se sont formées, la fertilité du sol est faible et ne permet que difficilement la culture du cotonnier, ce qui risque d'entraîner l'appauvrissement rapide de ce sol, car le cotonnier est la seule culture recevant régulièrement de l'engrais. Dans la partie basse, la pente devient très faible (0,6 %) et le sol est plus ou moins hydromorphe. Une ravine importante arrive dans le champ, en provenance d'un champ voisin. Elle traverse la partie haute du champ, puis s'étale dans la partie basse, en déposant du sable en une sorte de petit delta, de 30 à 40 m d'envergure. Une haie (sisal et arbustes spontanés) a été plantée sur le bord amont du champ par le paysan voisin, pour marquer de façon durable une limite contestée. Elle limite fortement l'érosion.

L'aménagement a été fait progressivement (figure 7). En 1993, la partie en amont a été aménagée en courbes de niveau et les eaux venant de l'amont ont été dérivées par deux petits fossés, situés au bord du champ et formés simplement par des dérayures à la charrue à bœufs, légèrement recreusées à la main. En 1994, l'aménagement en courbes de niveau de la partie haute du champ a été complété. En 1995, à la demande du paysan, la partie aval à pente très faible, environ 0,6 % a été aménagée ; il n'y avait pas alors de risque d'érosion, mais le paysan recherchait la conservation de l'eau, notamment pour permettre des semis plus précoces.

Un fossé d'écoulement de l'eau, suivant la plus grande pente, est entretenu sur un autre bord du champ, pour évacuer de l'eau venant de l'amont (ravine 2). Il a tendance à s'ensabler et déborde parfois, en faisant des dégâts dans le champ. Il est entretenu par un curage annuel. En 1995, on a semé du *Stylosanthes hamata* sur le bord de ce fossé.

La ravine principale a été laissée sans aménagement, mais on a évité de la cultiver et de la sarcler, afin que ses bords ne s'élargissent pas. L'eau qu'elle apporte s'étale largement dans la partie basse du champ, entre les billons de niveau, où elle s'infiltre.

## Champ de Zan Diarra à Siguidolo (région de Fana, secteur de Konobougou)

Quand il est proposé à l'aménagement, en 1994, ce champ est voué à l'abandon. Les cultures avaient été

déracinées par le ruissellement en 1993 et la pastèque semée en 1994 ne produisait pas. En fait, cette première impression est apparue trompeuse, car le champ, subit peu d'érosion diffuse, son sol est plutôt fertile mais est épuisé par une culture sans engrais. Par contre, le champ subit de l'érosion au passage de ravines venues de l'amont et c'est ce qui a été traité tout d'abord.

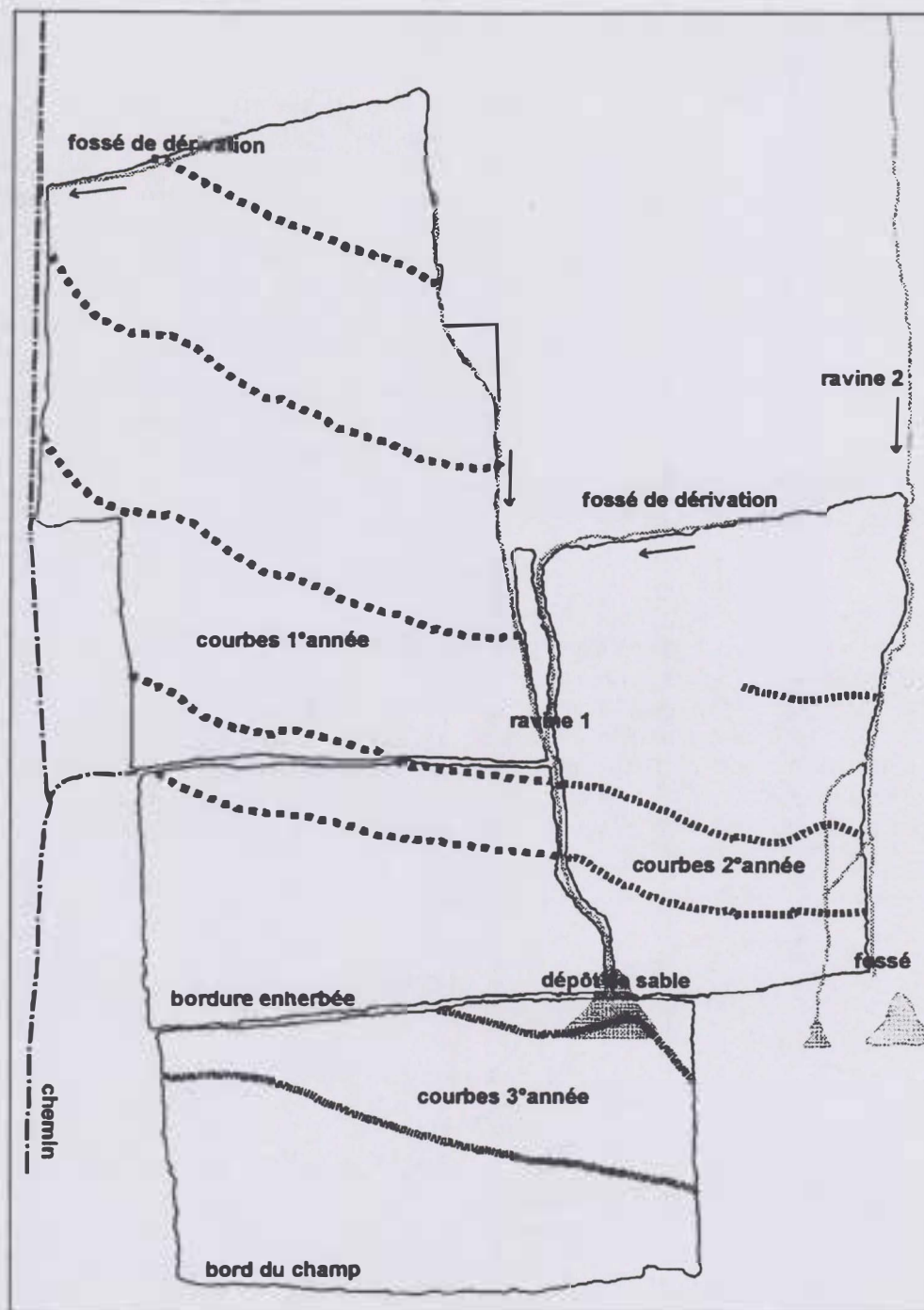
Deux passages d'eau très différents se présentent sur ce champ (figure 8). D'un côté, la ravine 1, bien marquée, a tendance à déposer du sable dans la zone du champ (elle creuse dans le champ voisin, en amont). Le passage de l'eau est inévitable et il n'est pas vraiment gênant. Cependant des barrages en pierres avaient été faits régulièrement le long de cette ravine, pour arrêter les sédiments et faire infiltrer l'eau. Ils ont eu une conséquence fâcheuse et prévisible : détourner l'eau vers le champ, où elle a érodé de la bonne terre. Cette ravine s'élargissait inutilement. De l'autre côté du champ, la ravine 2 divaguait après avoir quitté son lit habituel dans le champ d'un voisin à l'amont. Elle passait entre les billons, en empruntant un nouveau chemin à chaque nouvelle pluie et en cassant les billons sur son passage. Ainsi cette petite ravine provoquait d'importants dégâts.

L'aménagement a été, là aussi, réalisé progressivement (figure 8).

La ravine 1, importante, n'est plus cultivée depuis 1994 et ses berges se sont enherbées. Cela a suffi pour qu'elle retrouve une largeur normale. La largeur étant moins grande, la vitesse de l'eau est plus forte et on observe un léger creusement, qui devrait achever la fixation de cette ravine.

La ravine 2 qui divaguait a été dérivée en suivant le bord du champ, pour diriger l'eau vers une autre ravine bien fixée, la ravine 3, qui constitue un passage d'eau inévitable. La pente moyenne est d'environ 0,5 %, mais à deux points hauts, il a fallu creuser plus profondément. Le travail a été réalisé en deux années. La première année, la partie en amont a été traitée, en dérivant l'eau vers un ancien cours de la ravine qui traverse le champ. La deuxième année, le fossé a été prolongé vers l'aval, et l'ancien cours a été obstrué pour diriger l'eau dans le fossé. Ce barrage a été fait de façon très simple mais efficace par un tas de tiges de sorgho, lestées par de gros cailloux, formant un filtre qui a arrêté le sable des premières pluies, si bien que l'eau a été repoussée vers le fossé. Le paysan complète ce dispositif par un barrage en pierres qui sera permanent. Il a fallu renforcer le bord du fossé avec des cailloux en plusieurs endroits, pour éviter les débordements. Ce fossé de dérivation est maintenant fonctionnel. Il a tendance à recreuser les points hauts et atteindra probablement bientôt un équilibre assez stable. Il s'ensable dans les parties basses, qui doivent être curées de temps en temps, pour éviter les débordements.





**Figure 7.** Schéma de l'aménagement du champ de M. Broolaye Diarra à Konobougou (Mali, région de Fana).

A l'abri du fossé de dérivation ainsi construit, l'aménagement du champ en courbes de niveau a commencé en 1995, il est interrompu au passage des anciennes ravines, qui ne seront récupérées qu'après quelques années. Il est prévu que cet aménagement soit complété progressivement en 1997 et les années suivantes.

### Champ de Daouda Traoré à Kayan (région de Fana, secteur de Dioïla)

Ce champ est situé dans une zone plane qui souffre d'excès d'eau en période très pluvieuse. Un puits

existe sur ce champ et selon le paysan, certaines années le niveau de l'eau dans le puits remonte jusqu'à la surface pendant le mois d'août. L'aménagement vise donc à évacuer l'excès d'eau, tout en gardant au maximum l'eau des premières pluies, pour faire des semis et des buttages précoces.

Il a été réalisé (figure 9) :

- un fossé de drainage pour évacuer l'excès d'eau ; on a choisi le chemin le moins gênant possible, en suivant le bord de la parcelle (pente 2 à 3 %). Le fossé n'a été creusé que faiblement, mais le paysan estime qu'il a bien fonctionné ;
- des ados de niveau avec un fossé amont ouvert sur le fossé de drainage, pour favoriser l'évacuation de

l'excès d'eau en période pluvieuse, sans accentuer les pertes d'eau en début de saison. On a semé du *Panicum* sur les ados et on l'a coupé comme fourrage.

Il n'a pas été possible d'orienter les billons suivant les courbes de niveau en 1995, car les ados de niveau ont été fabriqués après les semis. Cela a été fait en 1996. Les billons ainsi orientés retiennent mieux l'eau des premières pluies, ce qui favorise les semis précoces, et les sarclages et buttages avant la période d'excès d'eau en août.

## Champ de Isaye Dembelé à Zamblala (région de Koutiala, secteur de M'Pes-soba)

Un passage d'eau important traverse le champ, en provenance d'un chemin à l'amont. A l'arrivée dans le champ, la pente étant faible, du sable stérile se dépose. Pour arrêter cette eau, le paysan avait fabriqué des fascines, qui, dans cette situation de pente faible et de circulation très lente de l'eau, ont été très efficaces pour ralentir et étaler l'eau. Il en est résulté un dépôt important de sable et un fort élargis-

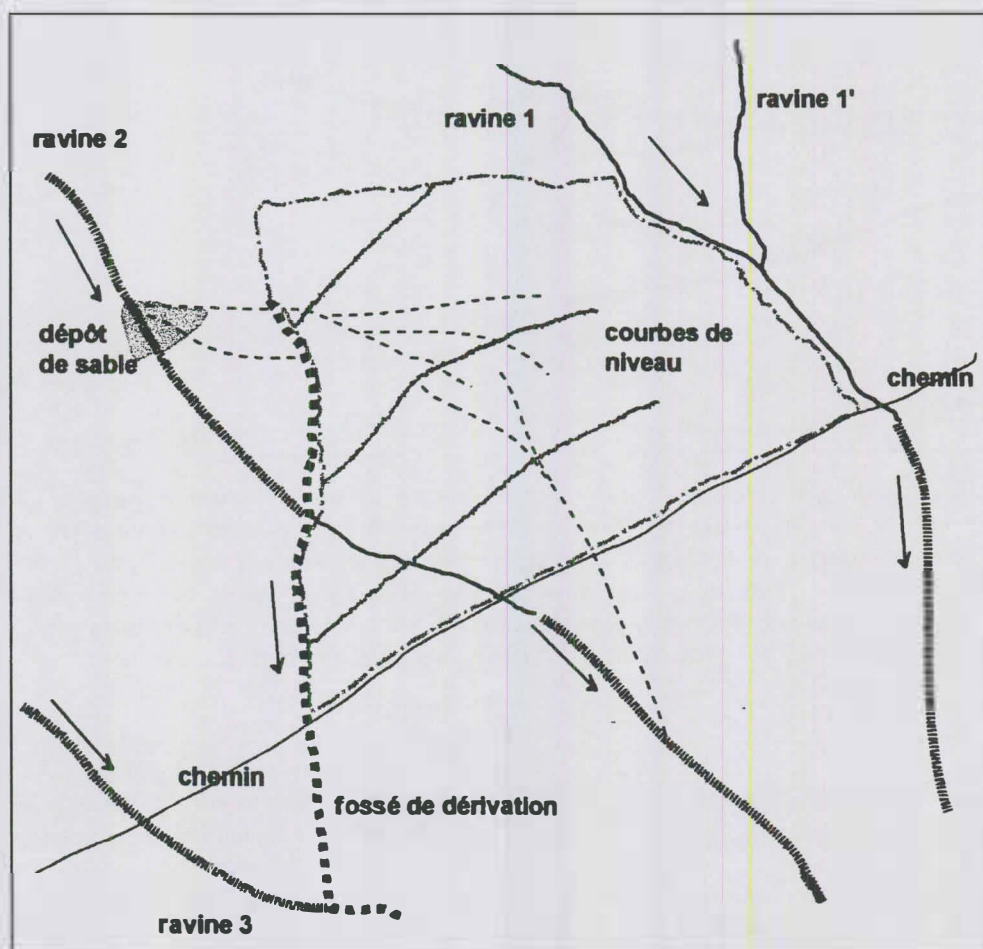
sement de la zone stérile, qui ne servait pas l'intérêt du paysan.

L'aménagement (figure 10) a été conçu de façon que l'eau passe tout en gênant le moins possible les cultures. Tout ce qui gênait la circulation de l'eau a, tout d'abord, été enlevé, puis un fossé a été légèrement creusé et on a laissé pousser la végétation naturelle sur les bords. Une bonne partie de ce fossé s'est stabilisée dès la première année. En continuant l'action dans le même sens, le reste du fossé s'est pratiquement stabilisé la deuxième année.

Dans le reste du champ, il n'y avait aucun signe d'érosion ni de problèmes d'infiltration de l'eau, aucun autre aménagement n'a donc été fait.

## Conclusions

Au départ, l'aménagement a été proposé contre l'érosion. Cependant les questions des paysans ont aussi porté très fréquemment sur des problèmes d'excès d'eau ou de ruissellement excessif mais sans pertes de terre importantes. C'est finalement toute la maîtrise de l'eau pluviale qui intéresse les paysans, soit pour la conserver et l'utiliser au mieux, soit pour



**Figure 8.** Schéma de l'aménagement du champ de M. Zan Diarra à Siguidolo (Mali, région de Fana).

évacuer les excès en faisant le moins de dégâts possibles. C'est sur l'ensemble de ces critères, et non sur le seul transport de terre par l'érosion, que les paysans apprécient la pertinence de la méthode par rapport à leurs propres objectifs.

La méthode s'est révélée assez plastique pour lutter contre l'érosion ou l'excès d'eau, dans des conditions compatibles avec la culture telle qu'elle est pratiquée

par les paysans. Les aménagements, à l'échelle du champ, ne demandent pas un travail considérable et ils modifient peu les techniques de culture ni les règles de gestion habituelles. Aussi les réactions des paysans ont été généralement très favorables.

Cependant, il ne faut pas oublier qu'il se posera inévitablement des problèmes de voisinages entre champs, voire entre villages, et que certains problèmes d'aménagements sont d'une dimension telle qu'ils ne peuvent pas être traités à l'échelle individuelle. Les approches à échelles individuelle et collective sont complémentaires.

## Références bibliographiques

CTFT, 1979. La conservation des sols au sud du Sahara. Paris, ministère de la coopération. Collection Techniques rurales en Afrique, 2<sup>e</sup> édition, 296 p.

DELISLE Y., JACOB J.P., 1995. Opération de développement et droits fonciers en Afrique. La lutte antiérosive au centre-ouest du Burkina Faso. Sécheresse 6 (3) : 295-302.

HIJkoop J., Van der POEL P., 1989. Mali-Sud. D'un aménagement antiérosif des champs à la gestion de l'espace rural. Royal tropical institute, Amsterdam, The Netherlands, Bulletin Kit 317 : 52.

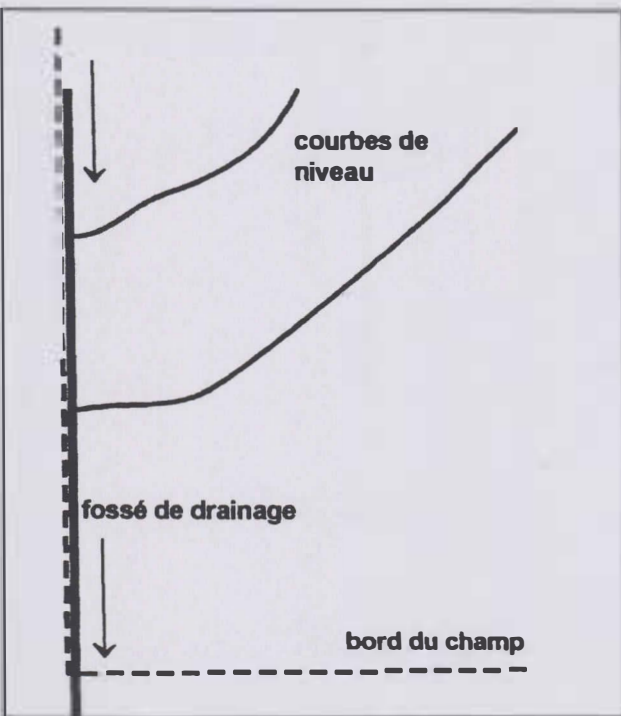


Figure 9. Schéma de l'aménagement du champ de M. Daouda Traoré à Kayan (Mali, région de Fana).

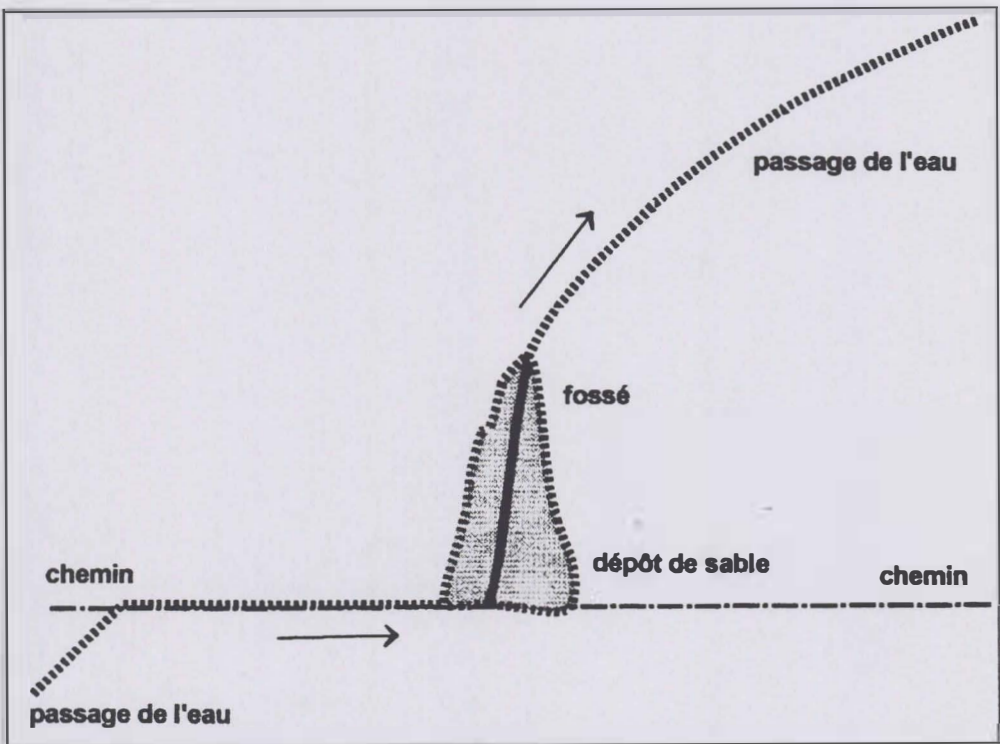


Figure 10. Schéma de l'aménagement du champ de M. Isaye Dembelé à Zamblala (Mali, région de Koutiala).



HIJKOOP J, Van der POEL P., KAYA B. 1991. Une lutte de longue haleine... Aménagements antiérosifs et gestion de terroir. Coll. Systèmes de production rurale au Mali. Vol 2. 1er Bamako/Kit Amsterdam, 154 p.

MARCHAL J.Y. 1986. Vingt ans de lutte antiérosive au nord du Burkina Faso. Cahiers Orstom, série Pédologie 22 (2) : 173-180.

VALLERAND F., 1994. The contribution of Action-Research to the organization of agrarian systems : preliminary results of experiments under way in

france. *In* DRENT J.B., McGREGOR M.J., (Eds) : Rural and farming systems analysis, European perspective. 1st european Convention on farming systems research/extension, Edinburg 1993/10/6-9, Scotland Cabi, p. 320-337.

Van CAMPEN.W. 1991. The long road to sound land management in southern Mali. *In* SAVENIJE H., HUIJSMAN A. (Eds), Making haste slowly. Strengthening local environmental management in Agricultural development. Amsterdam NL, Kit, Development-Oriented Research in Agriculture 2 : 131-14 : 131-148.

## **P**erception paysanne du *Striga* et contraintes à l'introduction de nouvelles techniques

### ***Striga perception by farmers and constraints to the introduction of new management techniques***

D. DEMBELE, G. HOFFMANN<sup>1</sup>

Programme conjoint sur le sorgho, Icrisat-Cirad, BP 320 Bamako, Mali

1. Nouvelle adresse : 22 rue de Lamballe, 45400 Fleury-les-Aubrais, France

Une enquête sur la perception qu'ont les paysans du problème *Striga* consistant en des entretiens individuels, a été lancée en 1990 par l'Icrisat-Cirad au Mali. Elle a concerné 950 paysans (essentiellement des hommes) dans 39 villages et hameaux à activité principalement agricole, choisis le long des axes routiers Sikasso-Bamako, Bamako-Kolokani et Bamako-Bancoumana. Il s'est révélé que le problème de terminologie était déterminant pour l'appréciation par enquête de l'ampleur du problème *Striga*. En effet, la quasi-totalité des paysans utilise le terme *Segue* en Bambara (ou ses équivalents en Sénoufo et Minianka), qui signifie « potasse », pour désigner tous les problèmes du sol entraînant nanisme et dépérissement de la culture. Cette appellation recouvre donc le *Striga* et toutes les espèces de plantes parasites herbacées connues des paysans, notamment leur phase souterraine (« *Segue* non visible »), mais aussi des phénomènes tels que acidité du sol, hydromorphie ou carences en éléments nutritifs. L'enquête a également mis en évidence d'importantes lacunes et confusions dans la connaissance qu'ont les paysans des différentes espèces de plantes parasites. En effet, pour distinguer celles-ci, ils rajoutent au terme générique de *Segue*, le nom de la culture parasitée, et parfois la couleur de la fleur du parasite. Or, de même qu'une même espèce peut parasiter plusieurs cultures d'une part, et avoir des fleurs de couleurs différentes d'autre part, plusieurs espèces peuvent parasiter une même culture d'une part, tout en présentant une

même couleur de fleurs d'autre part. Ainsi, les trois espèces de Scrophulariacées parasitant à la fois le mil, le sorgho et le maïs (*Striga hermonthica*, *S. aspera* et *Buchnera hispida*) sont souvent confondues (et même toujours pour les deux premières). Outre ces trois cultures et le niébé, l'arachide et le riz, les paysans ajoutent le coton et la patate douce à la liste des cultures parasitées par les divers *Segue*. Si seuls certains paysans pensent qu'il n'existe qu'un *Segue* qui change de morphologie et de comportement en fonction des conditions environnementales et de la culture hôte, en revanche la quasi-totalité pensent que toutes les cultures peuvent être attaquées, tout en présentant des niveaux différents de sensibilité. Ainsi, le mil et le sorgho, généralement cultivés sur sols pauvres avec des apports faibles de fertilisants, sont considérés comme plus sensibles que le maïs, cultivé sur sol relativement riche. La quasi-totalité des paysans ignore que le *Striga* se multiplie par graines. Pour la plupart d'entre eux, le *Striga* existe dans le sol avant le défrichement et se manifesterait après sa mise en culture, en faisant un indicateur de l'appauvrissement des sols. Les paysans pensent également que les symptômes d'attaque du *Striga* sur céréales sont visibles avant l'émergence du parasite. Les techniques de lutte les plus fréquemment citées par les paysans sont soit des techniques classiques d'entretien des cultures, soit des techniques d'amélioration de la fertilité du sol : l'application de fumure, organique en premier lieu, minérale

(surtout urée) en second lieu ; le semis précoce ; le labour ; le sarclage de la culture ; l'arrachage du *Striga*. Cette enquête nous a éclairés sur la méconnaissance, les lacunes, les idées erronées en circulation, en matière de bioécologie des parasites et relations hôte-parasite, ce qui nous permettra de mieux orienter les travaux de recherche en milieu paysan, notamment de définir les stratégies les plus adaptées pour l'évaluation des techniques de lutte et la formation des paysans.

In 1990, the Icrisat-Cirad Joint sorghum program undertook a survey on perception by Malian farmers of the *Striga* problem. It consisted in individual interviews and encompassed 950 farmers (mainly men) in 39 villages located along the Sikasso-Bamako, Bamako-Kolokani, and Bamako-Bancoumana roads. Terminology aspects were found to be determining in the appreciation of the extent of the *Striga* problem. Practically all farmers refer to all soil problems resulting in crop dwarfism and withering, by the word *Sege* in the Bambara languages (or its equivalents in the Senoufo and Minianka languages), whose original meaning is potash. This term encompasses *Striga* and all parasitic weed species farmers know, particularly their underground stage (non visible *Sege*), but also a variety of phenomena such as soil acidity, water-logging or nutrient deficiencies. The survey also showed major gaps and confusions in the farmers' knowledge of the various parasitic plant species. To differentiate them, they just add to the generic term *Sege*, the name of the parasitized crop plant, and sometimes the color of the parasite flower. This does not help much since some parasite species have a host range encompassing several crop species, and have flowers of various colors; on the other hand, several weed species showing the same flower color can parasitize the same crop. Farmers thus

never make the difference between *Striga hermonthica* and *S. aspera*, and the confusion often extends to *Buchnera hispida* as all three Scrophulariaceae species are common parasites of pearl millet, sorghum and maize. In addition to these three crop species and cowpea, groundnut and rice, farmers mistakenly think that cotton and sweet potato can be parasitized by *Sege* specie(s). While only some farmers believe that there is only one *Sege* which can adapt its shape and behavior to the host plant and environmental conditions, most think that all crops can be parasitized, showing differences only in the level of susceptibility. For instance, pearl millet and sorghum, which are generally cropped on poor soils with low fertilizer application are considered as more susceptible than maize, which is cropped on more fertile soils. Practically no farmers are aware that *Striga* disseminates by seeds. For most farmers, *Striga* pre-exists in the soil before the land is cleared, and appears after it is brought into cultivation ; it is therefore considered as an indicator of the decline in soil fertility. They think that symptoms of *Striga* infestation are visible on the crop before the emergence of the parasite. Control techniques that are the most frequently cited by farmers are classical crop management and soil fertility improvement techniques such as: fertilizer application, preferably organic (manure), or mineral (mainly urea) as a second choice; early planting, plowing, weeding and hand pulling of *Striga* plants. This survey therefore significantly improved our awareness of the gaps and wrong ideas that remain in farmers' knowledge and appreciation of the *Striga* problem, notably in the areas of bioecology and parasite-host plant relationships. This should help us better design and focus our future on-farm actions, and notably define the most suitable strategies for evaluating control techniques and train farmers.



# E

## Enquête sur les techniques de maintien du potentiel productif

F. GIRAUDY, T. SCHRADER, A. MAIGA, M. NIANG

Cmdt, BP 487, Bamako, Mali

**Résumé** — Depuis 1986, la Cmdt vulgarise les techniques de lutte antiérosive (Lae) et de maintien du potentiel productif (Mpp) suivant une approche village. Des enquêtes pour comparer les villages Lae et non Lae ont été organisées, dans toute la zone Mali-Sud, afin de comprendre les facteurs qui amènent les agriculteurs à adopter ou non les techniques proposées et d'en déduire des priorités de vulgarisation. Environ deux tiers des paysans connaissent les six techniques étudiées (fascines, barrières en cailloux, haies vives, bandes enherbées, parcs améliorés et fosses fumières). Les fosses fumières et les haies vives sont les mieux connues ; les bandes enherbées les plus méconnues. Les régions de Koutiala et Fana sont bien informées, alors que San et Bougouni le sont moins. Enfin, les exploitations les mieux équipées sont aussi mieux informées et vont chercher l'information dans les villages voisins. La diffusion des techniques s'est faite en majorité par le biais de l'encadrement Cmdt, puis par des échanges entre les paysans. Dans la région de Koutiala, le savoir-faire diffuse des villages Lae vers les non Lae. Les réalisations sont variables suivant les régions et les niveaux d'équipement. L'étude des potentiels d'adoption a montré que l'information et la maîtrise des techniques constituent les principaux facteurs de blocage. L'impact de la démarche Lae est considérable : meilleure information, meilleurs niveaux de réalisation, démarches plus intégrées. La démarche Lae a eu un effet multiplicateur de 2 à 2,8 selon les techniques.

**Abstract** — Survey on techniques of production potential conservation. Since 1986 Cmdt has promoted techniques of erosion control (Ec) and production potential conservation (Ppc), using a village-oriented approach. Surveys aiming at comparing Ec versus non Ec villages have been conducted in the whole of Mali-Sud, the south-eastern part of Mali to understand factors contributing to adoption or non adoption of the proposed techniques. These results should lead to a new orientation of extension priorities. Two thirds of the farmers had heard of the six techniques studied (fascines, pebble barriers, live hedges, stretches of land put under grass, improved cattle pens, manure pits). Manure pits and live hedges are the most popular techniques, whereas grass-covered land stretches are nearly unknown. The Koutiala and Fana regions are well

informed while those of San and Bougouni are less so. Lastly, the better equipped farms are informed and are more likely to look for information in neighboring villages. These techniques were diffused mainly through the Cmdt development framework and subsequently through farmer to farmer exchanges. In the Koutiala region, technology has spread from Ec to non Ec villages. Adoption levels vary according to the region and the level of mechanization. The study of the adoption potentials showed that the main constraints to the adoption of the techniques are information on and mastery of these techniques. The extension of erosion control techniques has had considerable impact and a multiplier effect of 2.0 to 2.8.

Sensible aux phénomènes d'érosion et d'épuisement des sols, la Cmdt a vulgarisé, depuis les années 60-70, un certain nombre de techniques contribuant au maintien du potentiel productif des terres cultivables. En 1986, le Projet lutte antiérosive (Plaé) est venu en appui pour diversifier et affiner la gamme des mesures d'aménagement vulgarisées. Ce projet a ensuite évolué pour prendre en compte l'ensemble du Maintien du potentiel productif (Mpp).

Une démarche d'animation spécifique à la lutte anti-érosive, basée sur une approche par village, a été expérimentée dans quelques villages puis progressivement mise en place dans de nombreux autres, appelés villages Lae. Les principales étapes sont les suivantes :

- sensibilisation (animation, visite inter-paysanne, séance de diapositives) ;
- formation aux méthodes Lae d'une équipe technique villageoise ;
- programmation des actions (prospection du terroir, plan d'aménagement, réunion de programmation) ;
- mise en œuvre et suivi des actions retenues ;
- auto-évaluation (réunion bilan Lae).

Dans les villages non Lae, les techniques de lutte contre l'érosion sont proposées uniquement par les vulgarisateurs non spécialisés et il n'y a pas eu d'action spécifique sur ce thème.

La vulgarisation de la lutte antiérosive a pris de l'ampleur à partir de 1990, après le recrutement des aménagistes par secteur et la formation de l'encadrement intervenant à la base. Le nombre de villages Lae a augmenté, pour atteindre 711 villages en 1994, soit 17 % du nombre total des villages encadrés par la Cmdt.

Le référentiel technique proposé, intitulé maintien du potentiel productif (voir la communication de Kanté et Wennink), constitue un panier de mesures dans lequel peuvent être sélectionnées celles qui répondent aux préoccupations des paysans. Ces techniques couvrent plusieurs domaines (techniques culturales, lutte antiérosive, production de fumure organique, fertilisation, alimentation des animaux, gestion de la zone sylvo-pastorale...) qui peuvent se compléter et offrir des synergies. Elles s'adaptent aussi à différents niveaux de responsabilité paysanne : exploitations agricoles, sous-groupes au sein des villages (femmes, quartiers, couches socio-professionnelles), des communautés villageoises et des comités inter-villageois. La plupart des mesures sont applicables par les exploitations agricoles, dans une perspective d'intensification et de pérennité des systèmes de production cotonniers.

## Présentation de l'enquête

### Objet et objectifs de l'enquête

L'enquête s'est intéressée à six techniques de lutte antiérosive et de production de fumure organique, qui relèvent généralement de la responsabilité des exploitations agricoles : fascines, barrières en cailloux, haies vives, bandes enherbées, parcs améliorés et fosses fumières. Pour chacune de ces techniques, les objectifs de l'enquête étaient :

- retracer la dynamique de la vulgarisation de la technique en zone Mali-Sud ;
- analyser les facteurs qui ont amené les exploitations agricoles à appliquer ou ne pas adopter la technique ;
- appréhender les perspectives de vulgarisation afin de relever les niveaux d'adoption et de réalisation de la mesure par les exploitations agricoles, tout en spécifiant pour les régions Cmdt, le type de village (Lae ou non) et le niveau d'équipement, types A, B, C et D (tableau I).

**Tableau I.** Rappel des définitions des types d'exploitation.

Type	Définition
A	Exploitation bien équipée pour la culture attelée, ayant au moins une charrette et possédant un troupeau de plus de 10 bovins, y compris deux paires de bœufs d'attelage.
B	Exploitation disposant d'au moins une paire de bœufs de labour et d'une unité de culture attelée, mais ayant un troupeau de bovins de moins de 10 têtes, y compris les bœufs d'attelage.
C	Exploitation non équipée pour la culture attelée, mais sachant conduire un attelage. Dispose souvent d'un équipement incomplet.
D	Exploitation en culture manuelle, ne connaissant pas ou très peu la culture attelée.

**Tableau II.** Répartition par régions des exploitations enquêtées (%).

	Population	Exploitations	Up enquêtées
Bougouni	23	16	18
Fana	18	18	17
Koutiala	23	27	25
San	15	22	20
Sikasso	21	18	20
Total	100	100	100

### Échantillonnage et questionnaire

L'enquête a été réalisée par 41 enquêteurs qui ont étudié chacun un village Lae et un autre non Lae. Après l'établissement d'une liste exhaustive des villages encadrés par la Cmdt, les sections aménagement des terroirs et enquête agricole des divisions développement rural (Ddr) ont procédé au choix aléatoire des villages à enquêter, en fonction du nombre d'enquêteurs par région Cmdt.

Dans chaque village retenu, qu'il soit petit ou gros, 12 exploitations ont été choisies, par tirage au sort, mais proportionnellement au nombre d'exploitations de type A, B, C et D présentes dans le village.

L'enquête a finalement été réalisée sur un échantillon de 947 exploitations (Up) dans les 82 villages répartis sur l'ensemble de la zone Mali-Sud (tableau II), soit une moyenne de 11,5 exploitations par village. Le taux d'échantillonnage est de 2,2 % des exploitations dans les villages Lae et seulement 0,4 % dans les villages non Lae, car ces derniers sont 5 fois plus nombreux. Malgré tout, les tendances observées dans les villages non Lae sont statistiquement significatives, à l'exception de certains résultats d'analyse combinant une technique, les régions Cmdt et les types d'exploitations C et D, qui n'ont pas été pris en compte ci-dessous. Pour tous les résultats qui incluent des villages Lae et non Lae, les pourcentages ont été calculés en pondérant les résultats Lae et non Lae par leurs poids respectifs dans les situations considérées.



Chaque exploitation retenue a été interviewée à l'aide du questionnaire pré-établi, organisé en deux parties, subdivisées en blocs regroupant toutes les questions d'un même thème. Dans la première partie, il s'agissait de renseignements généraux sur l'exploitation et sur l'attitude du paysan envers les problèmes environnementaux et les mesures d'aménagement.

Dans la deuxième partie, chacune des six techniques retenues a été étudiée selon le même type de questions : niveau d'information, objectifs, avantages, inconvénients, adoption ou non. Quelques questions étaient particulières à une technique, par exemple, les espèces utilisées pour les haies vives ou la largeur des bandes enherbées.

## Les exploitations agricoles et les attitudes des agriculteurs

### Caractéristiques des villages et des exploitations

Les principales caractéristiques des villages et des exploitations de la zone Mali-sud ont été reprises dans la communication de Fané et Wennink. La région de Koutiala a des villages moins nombreux, mais de plus grandes tailles. Les exploitations à population nombreuse se rencontrent plus souvent au sud.

La densité de population est la plus élevée dans les régions de San, Koutiala et Fana (28 à 31 habitants au km<sup>2</sup>). Ces deux dernières, constituant la plus grande partie du bassin cotonnier, connaissent aussi une croissance démographique élevée. Dans ces trois régions, le potentiel agro-démographique des terres (Pat), oscille entre 0,96 et 1,47 : il y a moins de deux hectares en réserve pour chaque hectare cultivé. Dans de telles situations, des systèmes de production agricole plus intensifiés sont nécessaires pour éviter l'épuisement des terres. Au sud, dans les régions de Bougouni et Sikasso, la densité de population est relativement faible et des terres sont encore disponibles. Les taux d'équipement sont relativement bas, ce qui se traduit par de moins grandes superficies cultivées par habitant.

Les exploitations de type A sont environ deux fois plus peuplées que celles de type B (tableau III). Les actifs constituent à peu près la moitié des personnes, un peu plus à San et moins à Bougouni.

Le phénomène d'exode rural existe dans toutes les régions, mais il est surtout important à San et à Bougouni. Il concerne surtout les exploitations équipées à Bougouni, Sikasso et Koutiala. Par contre, à San, l'importance relative de l'exode est plus grande dans les exploitations non équipées. Fana occupe une position intermédiaire.

**Tableau III.** Population totale moyenne par exploitation, selon la région et le type.

	A	B	C	D	Global
Bougouni	34,6	18,5	14,7	9,1	21,2
Fana	27,7	13,5	6,9	5,4	13,0
Koutiala	23,2	12,0	7,6	4,7	14,6
San	22,5	9,5	6,6	5,3	9,8
Sikasso	21,4	13,2	9,1	6,0	12,1
Global	26,0	12,7	8,4	6,2	13,9

Les exploitations de type A ont généralement trois ou quatre fois plus de bovins que celles de type B. En plus, elles disposent également d'un âne ou d'un cheval, ce qui n'est pas forcément le cas pour les types B, notamment à Bougouni et à Fana. Dans les exploitations de type A, les conditions sont alors réunies pour la production et le transport de fumier.

### Problèmes environnementaux

Parmi les principaux problèmes environnementaux auxquels les exploitations sont confrontées, huit contraintes majeures apparaissent mais n'ont pas la même priorité selon les zones :

- la sécheresse est surtout une préoccupation pour les paysans de San ; paradoxalement, elle est également souvent citée par ceux de Bougouni ;
- l'érosion hydrique est la ou une des préoccupations majeures des exploitations de Fana, de Koutiala et de Sikasso, et notamment des exploitations de type A ;
- la pauvreté des sols est surtout ressentie à Koutiala et à San, surtout pour les exploitations de types B, C et D ;
- le manque d'eau (potable ?) semble surtout préoccuper les régions du sud ;
- le manque de terres est surtout mentionné par les exploitations du bassin cotonnier, Koutiala et Fana ;
- la dégradation des forêts est en moyenne citée par une exploitation sur six, et plus souvent par celles équipées que celles non équipées. Avec 35 %, la région de San se détache de cette moyenne ;
- la nourriture du bétail ressort surtout dans les zones où les pâturages naturels deviennent de plus en plus rares ou dégradés : San, Koutiala et Fana, notamment chez les grands propriétaires d'animaux, les exploitations A ;
- la lutte contre les adventices est encore un problème pour beaucoup de paysans à Bougouni.



# Connaissance des mesures d'aménagement

Cinq mesures sont connues par 30 à 60 % des exploitations : haies vives, barrières en cailloux, fascines, lignes en cailloux, plantation d'arbres. Sept autres sont également bien connues, mais à un degré moindre (6 à 20 % des exploitations). Ces deux groupes de mesures représentent 94 % des réponses données. D'une manière générale, la connaissance des mesures d'aménagement diffère sensiblement entre les villages Lae et non Lae (figure 1).

Il existe également des différences entre les types d'exploitation, les équipées citant plus de réponses que les autres, mais le type de village semble primer sur le type d'Up dans la mesure où les exploitations D des villages Lae savent citer plus de mesures que les exploitations A des villages non Lae.

Certaines mesures ont été beaucoup plus citées dans les villages Lae. Il s'agit des haies vives, barrières en cailloux, fascines, bandes enherbées et lignes en cailloux. Ce sont celles qui ont été plus particulièrement vulgarisées dans ce cadre. Les lignes en cailloux sont, au contraire, méconnues par les non équipés des villages non Lae. En revanche, certaines mesures sont plus souvent citées dans les villages non Lae : les fosses fumières, la production de fumure organique, les cultures fourragères, etc. Celles-ci sont moins marquées par la démarche Lae et ont été largement diffusées par d'autres canaux. Pour d'autres mesures

enfin, les différences entre les deux types de villages sont minimales : plantation d'arbres, foyers améliorés, parcs améliorés et diguettes.

# Application des mesures d'aménagement

Sept mesures sont largement appliquées (par plus de 20 % des exploitations) : haies vives, barrières en cailloux, plantation d'arbres, fascines, lignes en cailloux, fosse fumière et foyers améliorés. L'écart entre les villages Lae et non Lae est grand (figure 2). L'écart entre Lae et non Lae est particulièrement prononcé dans la région de San. Il est remarquable que l'écart entre Lae et non Lae soit moins sensible pour les non équipés, ce qui veut dire que la démarche Lae a surtout touché les exploitations équipées des villages Lae.

D'une manière générale, le niveau d'application des mesures d'aménagement est le plus élevé dans les régions de Koutiala, Fana et Sikasso, qui sont pratiquement toutes trois au même niveau. La situation à San est particulière où les villages Lae sont au même niveau que ceux des trois régions précédentes, alors que les villages non Lae sont à un niveau sensiblement plus bas. Bougouni se distingue par un niveau d'application de mesures nettement plus bas, à l'exception des haies vives, des barrières et lignes en cailloux.

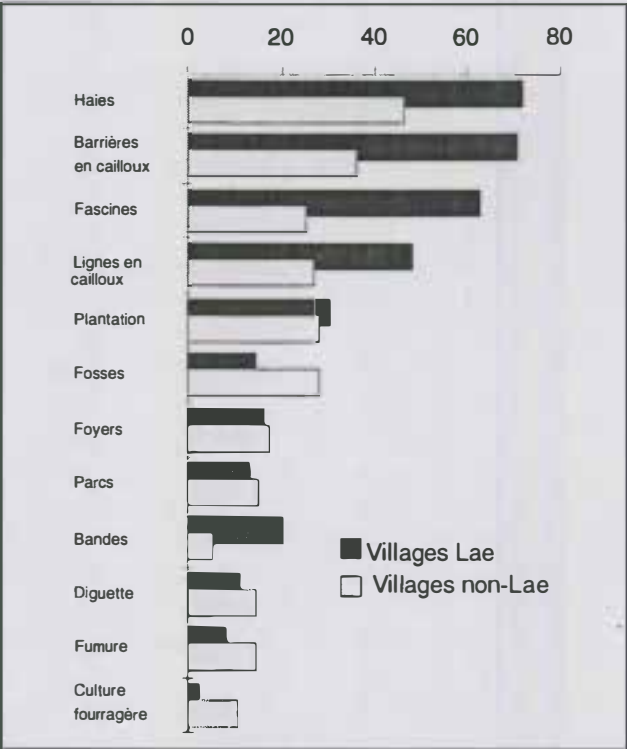


Figure 1. Connaissance des principales mesures d'aménagement (% de paysans ayant cité spontanément la mesure, selon le type de village).

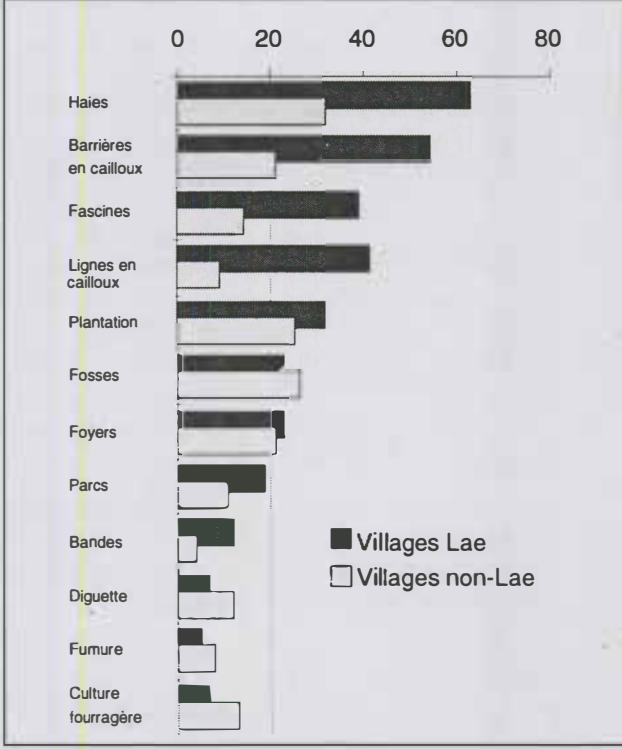


Figure 2. Application des principales mesures d'aménagement (% de paysans ayant cité spontanément la mesure, selon le type de village).

## Synthèse des études par technique

Pour chaque technique, tous les aspects concernant l'information, la diffusion, la maîtrise technique, les niveaux de réalisation et les raisons des non-réalisations ont d'abord été étudiés. Pour faciliter l'analyse, nous avons alors défini une moyenne inter-techniques qui permet de comparer les différences de comportement qui existent entre les régions ou les types d'exploitations. Cet indice est simplement calculé en faisant la moyenne des pourcentages observés dans chaque technique pour une question donnée (avez-vous réalisé la technique ? Quel a été le rôle de l'encadrement ? etc.)

### Les niveaux d'information

Les niveaux d'information de base sont assez variables d'une technique à l'autre (figure 3). Les plus connues sont les fosses fumières, les haies vives et les barrières en cailloux. Les parcs améliorés sont proches de la moyenne. Les fascines, quant à elles, sont connues d'à peine plus de la moitié des paysans et les bandes enherbées par un peu plus d'un tiers. La moyenne inter-techniques est de 64 %, c'est-à-dire qu'en moyenne, les techniques de maintien du potentiel productif sont connues par environ deux tiers des paysans.

Les niveaux d'information sont, également, assez variables d'une région à une autre. L'ordre d'importance des techniques varie assez peu selon les régions : ainsi, les fosses fumières sont toujours la technique la plus connue et les bandes enherbées la plus méconnue.

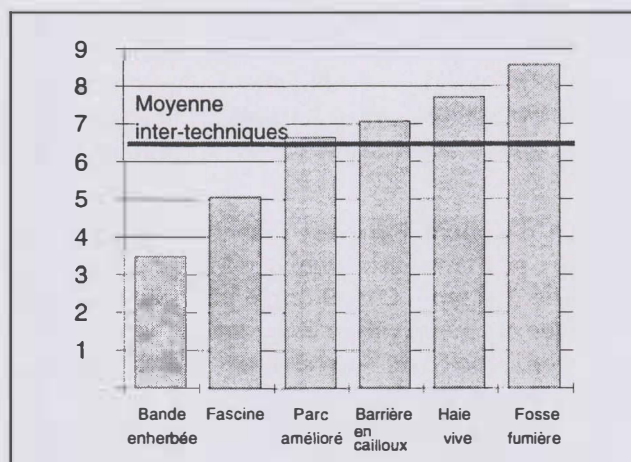


Figure 3. Niveau d'information moyen pour chaque technique.

Il existe des différences de niveau d'information très nettes entre les différents types d'exploitation : d'une manière générale, plus une exploitation est équipée, mieux elle est informée. Le niveau d'information moyen est de plus de 70 % pour les types A, 64 % et 61 % pour les types B et C, alors qu'il n'est que de 55 % pour les types D. Les différences sont particulièrement marquées pour les parcs améliorés et pour les fascines.

### La diffusion

La diffusion de la technique a fait l'objet de plusieurs questions qui cherchaient à mettre en évidence l'origine de la diffusion de la technique.

#### Rôle de l'encadrement

Parmi les paysans qui ont entendu parler des différentes techniques, près de la moitié (48 %) a été informée par l'encadrement, y compris l'aménagiste. L'encadrement a joué le rôle le plus important pour la diffusion des parcs améliorés (63 %), des fosses fumières (53 %) et des haies vives (50 %). Les techniques de comblement des rigoles et les bandes enherbées ont moins été diffusées par l'encadrement. Cela tient sans doute au fait que ces deux dernières techniques sont plus marquées Lae et que la diffusion s'est faite essentiellement dans ces villages. A l'inverse, les techniques de production de fumure organique et les haies vives sont diffusées depuis plus longtemps et pas seulement dans le cadre de la démarche Lae.

L'information ne circule pas de la même façon dans toutes les régions et l'encadrement n'y a pas joué le même rôle. Les échanges entre paysans, qu'ils soient ou non du même village, sont importants. De plus, à partir du moment où le niveau général d'information est élevé, ce qui est le cas à Kouïtiala, la diffusion devient de plus en plus facile. Ces mêmes phénomènes ont pu se produire à San, bien que le niveau d'information soit moins important, car dans cette région les services gouvernementaux et de nombreuses Ong sont présents sur le terrain, ce qui a certainement facilité la diffusion de plusieurs techniques.

Il apparaît que les exploitations les mieux équipées sont les interlocuteurs privilégiés de l'encadrement, ou tout au moins celles qui profitent le plus de ses conseils. En effet, 56 % des exploitations de type A ont été informées par l'encadrement, contre entre 44 et 42 % pour les autres types. Cette différence se retrouvera dans d'autres statistiques. Il est difficile de savoir l'origine de ces différences : l'encadrement cherche-t-il à s'adresser en priorité aux exploitations les plus puissantes du village ? Celles-ci sont-elles plus en contact avec l'extérieur ? Est-ce que leur statut plus aisé les rend plus réceptives aux



innovations ou plus disponibles ? Ou bien ne sont-elles pas les plus performantes justement parce que, depuis longtemps, elles ont cherché à évoluer, que ce soit grâce à l'encadrement ou d'autres formes de nouveautés ? Chacune de ces questions contient sans doute des éléments de réponse et il y en a peut-être d'autres.

Le message de l'encadrement devrait être adapté aux différents types d'interlocuteurs qui existent dans la zone. L'utilisation du suivi-appui-conseil et des résultats des différentes enquêtes menées sur le terrain devraient permettre de définir des politiques mieux adaptées aux réalités paysannes de la zone, donc plus efficaces.

### Connaissance générale de la technique

Le pourcentage de paysans ayant vu les différentes techniques a presque les mêmes caractéristiques que le pourcentage de ceux qui en ont entendu parler (figure 4). L'endroit où les paysans ont vu la technique peut renseigner sur le dynamisme entre les paysans d'un même village ou au contraire l'importance des échanges entre les villages, notamment l'influence que peuvent avoir les villages Lae sur les villages non Lae.

Il semble que l'ancienneté de la diffusion de la technique ait joué un rôle important dans le lieu où les paysans l'ont vue pour la première fois. Les techniques peuvent être divisées en deux catégories :

- les techniques de production de matière organique, dont la diffusion est ancienne et qui ont été reprises

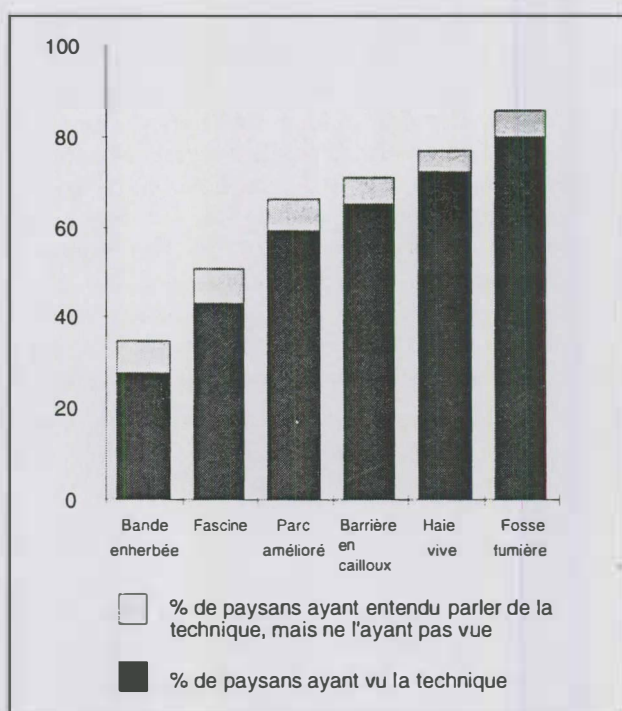


Figure 4. Pourcentage de paysans ayant vu les différentes techniques.

dans le cadre de la démarche lutte antiérosive ; la plupart des paysans les ont déjà vues dans leur village et les villages Lae ont joué un rôle mineur dans leur diffusion ;

- les techniques plus spécifiquement liées à la démarche Lae, d'une introduction plus récente, ont une diffusion inter-villageoise plus importante, en particulier, le rôle d'information des villages Lae pour les autres est particulièrement marqué.

Les comportements ne sont pas les mêmes selon les régions considérées : si les paysans de Fana et Sikasso semblent avoir vu le plus souvent les techniques de maintien du potentiel productif dans leur village, la situation est plus équilibrée ailleurs et la diffusion inter-villageoise joue un rôle important, particulièrement dans les régions de San et de Koutiala. Dans cette dernière, en moyenne, près de la moitié des paysans des villages non Lae ont vu la technique pour la première fois dans un village Lae voisin. En ne considérant que les techniques plus spécifiquement liées à la démarche Lae (haies vives, bandes enherbées, fascines et barrières en cailloux), ce taux dépasse largement les 50 %. Plusieurs explications peuvent être proposées :

- la densité des villages Lae est beaucoup plus élevée dans cette région que dans le reste de la zone d'intervention de la Cmdt : un village pris au hasard a donc plus de chances d'avoir un des ses voisins dans lequel la démarche Lae a été effectuée ;

- les villages Lae de cette région sont souvent plus anciens, si bien que les innovations ont donc eu plus de temps pour diffuser ;

- l'organisation du monde rural, très poussée dans cette région, favorise les échanges ; de nombreuses structures offrent des forums d'échange (Zaer, Kafo Jiginew, centres de gestion rurale, syndicalisme...) et elles y sont plus développées que dans les autres régions ;

- enfin, la pression sur les terres, l'érosion et les phénomènes de dégradation du sol sont plus fréquents à Koutiala qu'ailleurs du fait d'une densité de population plus élevée et d'une agriculture plus intensive ; dans ces conditions, les paysans cherchent des techniques améliorantes et sont davantage prêts à les adopter.

Le type d'exploitation n'est pas neutre pour cette question, pourtant à priori peu liée à l'équipement ou à la taille. Les types C et D ont le plus souvent vu la technique dans leur village alors que les types A et B sont beaucoup plus tournés vers l'extérieur. De même, la diffusion des villages Lae vers les non Lae s'est essentiellement faite à travers les exploitations équipées. Tout se passe comme si les Up de types A et B allaient plus facilement chercher les informations à l'extérieur avant de les restituer au village.



## Apprentissage : rôle des démonstrations et de l'équipe technique

La question suivante est de savoir comment les paysans ont appris à réaliser la technique et quels ont été les rôles respectifs de l'encadrement, des relais villageois (l'équipe technique Lae) et de l'auto-apprentissage dans l'acquisition des connaissances nécessaires à de bonnes réalisations.

En moyenne, parmi les paysans qui ont entendu parler des différentes techniques, 40 % des paysans n'ont jamais appris à la réaliser (selon les techniques), 22 % l'ont apprise au cours de démonstrations et 6 % grâce aux équipes techniques villageoises. Les fosses fumières sont les mieux maîtrisées et les bandes enherbées les plus ignorées.

C'est dans la région de Fana que les démonstrations ont été les plus efficaces, puis dans celle de Sikasso. Le rôle de l'équipe technique Lae dans l'apprentissage de la technique par les paysans est généralement assez faible, à l'exception très nette de la région de Koutiala, où plus de la moitié des paysans des villages Lae ont été formés par leur équipe technique.

Le type d'exploitation joue ici un rôle moins net que pour les autres questions. Il n'en demeure pas moins que ce sont les exploitations de type A et B qui ont généralement plus suivi les démonstrations et ont plus souvent appris alors que les types D sont beaucoup plus effacés.

## Les niveaux de réalisation

L'impact de la démarche Lae est très important, pour toutes les techniques, sauf pour les fosses fumières, d'une diffusion plus ancienne et plus généralisée (figure 5). La diffusion est meilleure dans les villages Lae (plus de paysans réalisent une technique donnée) et les paysans réalisent en moyenne plus de techniques que ceux des villages non Lae (2,71 contre 1,94 mesures parmi les 6 étudiées en moyenne pour les paysans qui ont réalisé au moins une technique). Dans les villages Lae, 66 % des paysans ont réalisé au moins deux des six techniques et 25 % quatre ou plus. Dans les villages non Lae, ces taux sont respectivement de 38 et 8 %.

Les différences régionales apparaissent sur la figure 6. Koutiala et Fana sont les régions dans lesquelles les techniques de maintien du potentiel productif sont les plus réalisées. Dans la région de Fana, néanmoins, les différences entre villages Lae et non Lae sont plus prononcées. Dans les régions de Bougouni et San, les taux de réalisations sont plus faibles et le nombre de mesures appliquées est moins élevé que dans les autres régions. Cependant, dans les deux cas, les taux dans les villages Lae sont bien plus élevés que la moyenne régionale : plus de 80 % des paysans ont

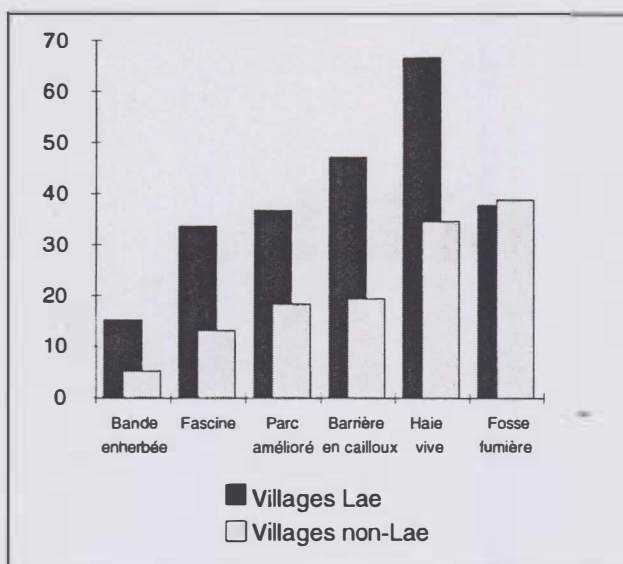


Figure 5. Pourcentage de réalisation des techniques étudiées, selon le type de village.

réalisé au moins une des techniques. Mais dans les villages dans lesquels la démarche Lae n'a pas encore été effectuée, la diffusion est encore embryonnaire.

Là encore, le type d'exploitation influence de façon indéniable les taux de réalisation. L'action Lae a eu un impact très net : 96 % des exploitations de type A ont réalisé au moins une des techniques dans les villages Lae, contre 81 % dans les autres villages. De plus dans le premier type de village, 85 % ont réalisé au moins deux techniques et 43 % quatre techniques ou plus. Ces différences se retrouvent pour les autres types, mais d'une manière générale, l'action Lae semble avoir favorisé les exploitations équipées.

En étudiant le nombre moyen de techniques réalisées selon les types ou les régions, les différences s'accroissent. En d'autres termes, là où les paysans sont plus nombreux à avoir réalisé au moins une technique, ils en ont aussi réalisé plus.

La figure 7 montre que la démarche Lae accentue les différences entre régions ou types d'exploitations. Cependant le nombre de mesures pour les types D est moins important dans les villages Lae que dans les autres, ce qui peut s'expliquer par le fait que plus d'exploitations de ce type sont touchées, mais les nouvelles n'appliquent qu'une des mesures vulgarisées.

## Les potentiels d'adoption

A partir des réponses collectées au cours de l'enquête, il est possible de classer les exploitants enquêtés en trois grandes catégories :

- ceux qui ont déjà réalisé la technique ;
- ceux qui pourraient la réaliser ;
- ceux qui ont très peu de chance de la réaliser.

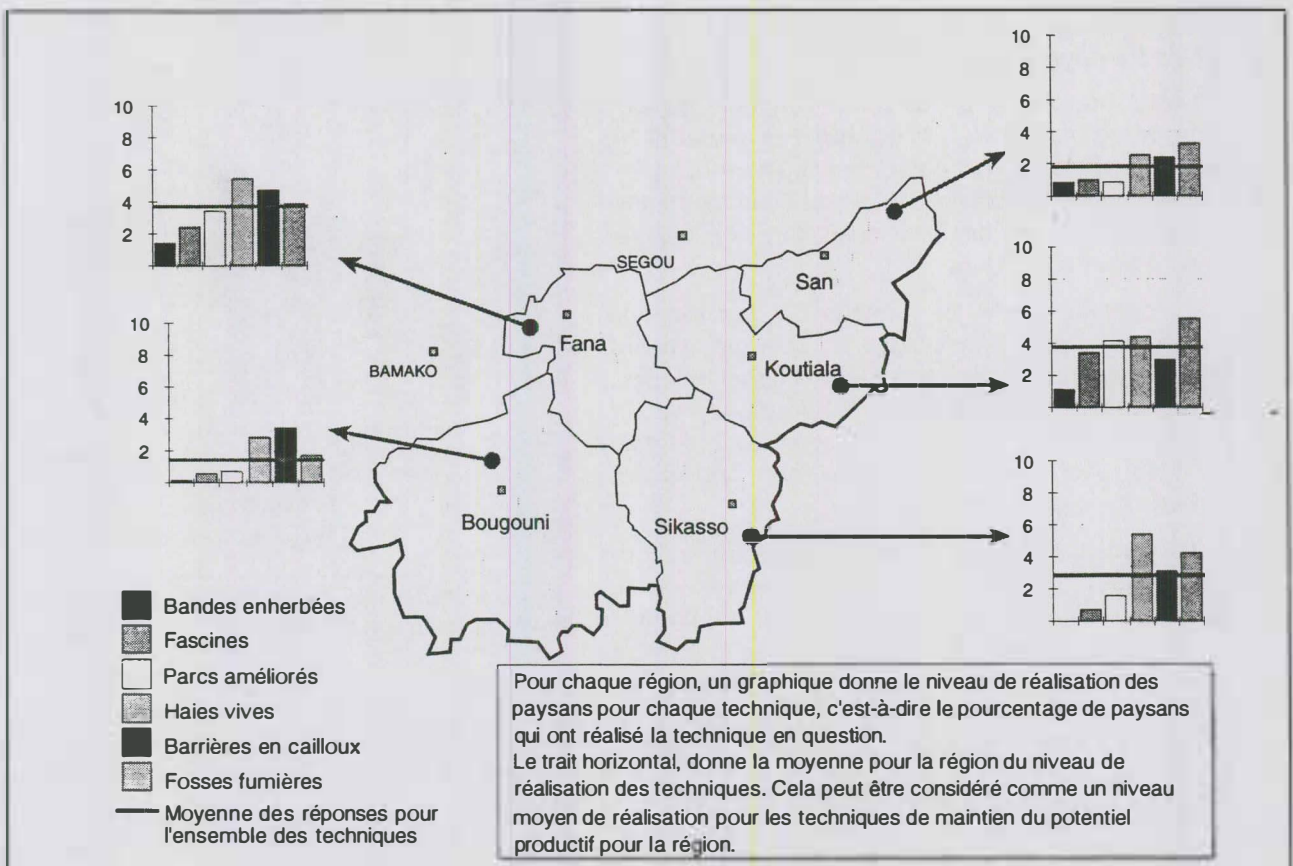


Figure 6. Niveau de réalisation des techniques de maintien du potentiel productif.

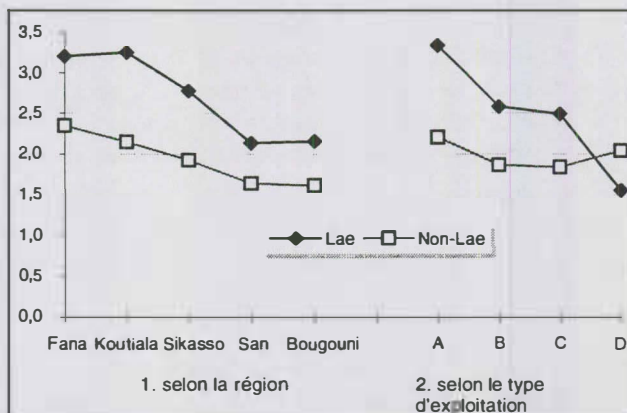


Figure 7. Nombre moyen de mesures réalisées parmi les six étudiées.

La deuxième catégorie représente le potentiel d'adoption, que l'on peut définir comme étant le pourcentage maximum de paysans susceptibles d'adopter la technique considérée à l'avenir. Ce potentiel a été calculé pour chacune des techniques ; c'est une analyse globale qui permet de se faire une idée sur l'évolution possible de l'adoption des techniques et de préciser les facteurs de blocage.

Le potentiel d'adoption est inversement lié au taux de réalisation, dans la mesure où il n'est pas possible de se trouver à la fois dans les deux catégories. Ce sont donc les techniques les moins populaires qui ont le

plus fort potentiel d'adoption : bandes enherbées, fascines et parcs améliorés. Pour ces derniers, le manque de bovins est une des contraintes majeures. Le potentiel d'adoption des fosses fumières et des haies vives est plus faible, représentant moins de 50 % des paysans.

En moyenne inter-techniques, le potentiel d'adoption monte à 62 % des paysans, 38 % n'ont pas réalisé la technique par manque d'information, 12 % par manque de maîtrise technique et 12 % à cause de contraintes diverses (main-d'œuvre, matériel ou contraintes liées aux techniques). Il est probable qu'une partie des paysans mal informés découvriront d'autres contraintes lorsqu'ils seront mieux informés. Pourtant la majeure partie du potentiel d'adoption est constituée de ces paysans dont les connaissances sont trop limitées pour envisager d'appliquer l'ensemble des mesures de maintien du potentiel productif.

Quelle que soit la région, le manque d'information est la composante majeure du potentiel d'adoption, mais les niveaux sont variables suivant les régions. Le potentiel d'adoption se situe entre les trois-quarts et les deux tiers des paysans dans les régions de Bougouni, San et Sikasso (en ordre décroissant). Il est proche de la moitié dans les régions de Fana et Koutiala.



Le potentiel d'adoption est moins fort pour les exploitations de type A que pour les autres. B et C sont à peu près similaires, il est beaucoup plus fort pour les types D. Les différences se font essentiellement sur le niveau d'information et les contraintes, qui sont plus fortes pour les exploitations non équipées que pour les équipées. Les plus forts écarts se retrouvent dans les contraintes sur les parcs améliorés, dans la mesure où les exploitations non équipées n'ont généralement pas ou peu de bovins, ce qui rend difficile la réalisation d'un parc.

## Impact global de la démarche Lae

### Taux d'adoption

Il est intéressant d'étudier dans quelle mesure les activités menées par les villages Lae sont également connues et appliquées par les villages non Lae. La représentativité de l'enquête, quant au nombre de villages et aux différents types d'Up, permet une telle analyse comparative.

D'une manière générale, les efforts de sensibilisation, de formation, de programmation et de suivi consentis aux villages Lae se sont traduits par des taux d'adoption plus élevés. L'indice « effet Lae » présente le facteur de multiplication qu'il faut appliquer aux taux d'adoption des villages non Lae pour obtenir ceux des villages Lae. Cet indice montre que, pour cinq des six techniques étudiées, les taux d'adoption des villages Lae sont 2 à 2,5 fois plus élevés que ceux des villages non Lae. Les fosses fumières constituent un cas à part, leur niveau d'adoption serait même plus élevé au niveau des villages non Lae (tableau IV).

Bien que les taux d'adoption soient généralement moins élevés dans les villages non Lae, ils sont cependant encourageants, notamment pour les haies vives et les fosses fumières. Ces dernières avaient déjà été vulgarisées avant le démarrage du projet Lae. Les haies vives ont été, à un certain moment, retenues comme activité prioritaire et, à ce titre, ont reçu une attention particulière par tout l'encadrement. Les barrières en cailloux et les parcs améliorés, eux aussi, connaissent un certain essor dans les exploitations des villages non Lae. Les bandes enherbées ne sont appréciées ni par les villages Lae, ni par les villages non Lae.

Tableau IV. Taux d'adoption et calcul de l'effet Lae.

Mesures	Villages		Effet Lae (%)
	Lae (%)	non Lae	
Fascines	34	13	2,8
Barrières en cailloux	47	19	2,5
Haies vives	67	35	2,0
Bandes enherbées	15	6	2,4
Parcs améliorés	37	19	1,9
Fosses fumières	38	39	1,0

## Conclusion

L'étude sur les techniques de maintien du potentiel productif a abouti aux conclusions suivantes. La sécheresse, l'érosion hydrique et la pauvreté des sols sont les problèmes environnementaux les plus ressentis par les paysans interrogés. Les techniques choisies pour l'enquête, qui visent à diminuer l'érosion, garder une humidité acceptable dans la parcelle et augmenter le taux de matière organique dans le sol à travers la production de fumure organique, répondent donc à priori bien aux préoccupations des agriculteurs.

Bien que la production de fumure organique soit largement pratiquée dans la zone Mali-Sud, les mesures d'aménagement que les paysans citent le plus souvent spontanément sont les techniques comme les haies vives, les barrières et les lignes en cailloux et les fascines.

L'impact de la démarche Lae est considérable : les niveaux d'information et les taux de réalisations sont en général deux à trois fois plus élevés dans les villages Lae que dans les autres villages, sauf pour les techniques comme les fosses fumières, dont la diffusion est plus ancienne et plus généralisée. Dans la région de Koutiala, cependant, les techniques de maintien du potentiel productif ont largement dépassé le seul cadre des villages Lae pour se généraliser de façon importante. A l'inverse, les villages non Lae des régions de San, Bougouni et Sikasso sont très en retard.

La diffusion s'est faite en général par l'encadrement, puis à l'intérieur du village, entre les paysans, et enfin d'un village à l'autre. Pour les techniques les plus anciennes, les diffusions inter-paysanne et inter-villageoises dominent, alors que pour les plus récentes, c'est l'encadrement qui en a assuré la presque totalité. La proximité d'un village Lae a une influence surtout dans la région de Koutiala, où il est vrai qu'ils sont plus nombreux et plus anciens. C'est aussi dans cette dernière région que les équipes techniques des associations villageoises jouent le plus grand rôle.



Les techniques le plus souvent réalisées sont les haies vives, surtout dans les villages Lae et les fosses fumières, dans tous les types de village.

Les villages qui ont bénéficié de la démarche Lae ont non seulement des niveaux d'information et de réalisation plus importants, mais les paysans semblent avoir des démarches de maintien du potentiel productif plus intégrées. En effet, le nombre moyen de mesures réalisées par paysan dans les villages Lae est deux fois plus important que dans les villages non Lae (2,71 contre 1,94 pour les 6 mesures étudiées).

Cette démarche Lae a eu un autre effet, celui d'accentuer les différences en matière de maintien du potentiel productif entre les régions, d'une part, et entre les types d'exploitation, d'autre part. Ainsi, par exemple, les exploitations de types A sont en général mieux informées et ont des niveaux de réalisation plus élevés que les exploitations non équipées, même dans les villages non Lae. Bien que le niveau général soit plus élevé dans les villages Lae, les différences y sont encore plus importantes. Dans certains cas, l'effet Lae sur les exploitations non équipées est très faible. De tels phénomènes existent aussi entre les différentes régions. Il n'y a pourtant pas de sélection a priori par l'encadrement lors des démonstrations, mais les exploitations les mieux équipées, comme celles des régions les plus avancées, sont celles qui vont le plus chercher l'information ou l'innovation, que ce soit auprès de l'encadrement ou dans les villages voisins.

L'enquête a permis de définir des potentiels d'adoption, pour chacune des techniques et dans les différents cas de figure étudiés. Cela permet de mieux cerner les priorités pour la vulgarisation, selon les régions, les types de villages ou d'exploitation.

D'une manière générale, ce sont les manques d'information et de maîtrise technique qui constituent les principaux facteurs de blocage à une plus large diffusion des techniques de maintien du potentiel productif. Les actions d'information et de formation semblent être, dans un premier temps en tout cas, les mieux adaptées.

La démarche Lae a fait ses preuves pour résoudre une bonne partie de ces facteurs de blocage sur l'information et la formation ; l'abandonner serait dommage. Cependant, pour la généraliser, la difficulté est de garder une animation de qualité dans tous les cas. L'exemple de Koutiala montre qu'à partir d'un certain seuil, la diffusion des villages Lae vers les autres se fait beaucoup mieux. Il n'est donc peut-être pas nécessaire d'envisager des actions spécifiques dans tous les villages, mais d'arriver à ce seuil partout. Même s'il n'est pas possible de déterminer a priori ces seuils critiques à partir desquels la diffusion se fera naturellement entre paysans, leur simple existence permet d'espérer... Les réflexions sur l'avenir des politiques à mener en matière de maintien du potentiel productif doivent prendre en compte les aspects positifs de la démarche Lae pour faire évoluer la vulgarisation sans en perdre les acquis.

# Rapports de session

# Rapport de la session I. Génétique et amélioration variétale

## *Report of session I. Genetics and plant breeding*

J. CHANTEREAU

Coordonnateur

N.D. YAGOUA

Président

R. KENGA, A.F. ASSAMOI

Rapporteurs

Les travaux exposés au cours de cette session consacrée à l'amélioration variétale ont porté sur :

- le photopériodisme et la sensibilité des sorghos aux températures ;
- les qualités des grains de sorgho pour le tô et le bogobe ;
- la caractérisation du génome du sorgho à l'aide du marquage moléculaire ;
- l'exploitation des guinea en sélection.

### Résumé des communications

Le premier exposé était intitulé « Influence de la température nocturne sur la réponse photopériodique d'un écotype guinea ouest africain ». Deux méthodes ont été utilisées pour étudier l'influence des températures nocturnes sur un écotype guinea, Is 7680. La première méthode (Ceres) qui prend en compte les températures moyennes journalières n'a pas permis d'établir les paramètres génétiques du développement phénologique des plantes photopériodiques. La deuxième méthode basée sur les températures minimales nocturnes a ajusté de façon satisfaisante les données expérimentales au schéma de Major et Vergara. Il apparaît que Is 7680 est un cultivar très photopériodique dont l'induction florale a besoin de températures nocturnes élevées. La réaction de Is 7680 à la photopériode et aux températures nocturnes serait

commune à la plupart des sorghos guinea de la sous-région.

Le deuxième exposé a porté sur la « caractérisation de différentes réponses à la température et à la photopériode de cultivars africains de sorgho ». Le modèle utilisé pour déterminer la réaction de Is 7680 à la température et à la photopériode a été appliqué à deux cultivars d'origine différente : un kafir Is 9508 d'origine sud-africaine et un durra Ssm 973 du Sénégal. Après modélisation, le kafir est apparu non photopériodique à Samanko. Le durra est apparu très photopériodique en jours courts en ayant une durée thermique de son cycle végétatif très basse. C'est ce comportement qui expliquerait l'adaptation de ce durra à la culture de décrue qui est une culture de post-hivernage. La comparaison des caractéristiques thermo-photopériodiques des trois cultivars Is 7680, Is 9508, Ssm 973 montre des différences de comportement en fonction des aptitudes culturales.

Quelques précisions ont été demandées à la suite de ces deux exposés sur : 1) l'influence du régime hydrique sur les réactions observées, et 2) la précocité intrinsèque des sorghos. En ce qui concerne le régime hydrique, les semis ont été faits en saison pluvieuse et en contre-saison. Pour les semis de saison pluvieuse il a pu y avoir des stress hydriques dans certains cas. En contre-saison, l'alimentation hydrique a toujours été satisfaisante et donc ne doit pas avoir eu d'influence sur les réactions thermo-photopériodiques. La précocité intrinsèque est la durée de la phase végétative qui est incompressible. Elle



caractérise chaque génotype de façon spécifique quand celui-ci pousse en condition photopériodique optimale. Le cycle d'une variété ne peut pas être inférieur à sa précocité intrinsèque.

Le troisième exposé était intitulé « Etude du déterminisme génétique du photopériodisme des sorghos guinea ». Les sorghos de race guinea sont, en majorité, sensibles à la photopériode. Ceci leur confère une grande capacité d'adaptation vis-à-vis des contraintes climatiques et biotiques. Par contre, les variétés sélectionnées sont souvent non sensibles à la photopériode et ont des problèmes d'adaptation aux systèmes traditionnels de culture. Il s'est agi dans cette étude de mieux connaître le déterminisme génétique du photopériodisme en vue d'intégrer aux variétés améliorées un certain niveau de photosensibilité. Des études faites sur des  $F_1$  et  $F_2$  ont mis en évidence que la réponse à la photopériode était dominante et contrôlée par au moins deux gènes majeurs (dont le gène Ma1). De même, l'étude de lignées recombinantes suggère que plusieurs gènes ont une action sur le Bvp (*Basic vegetative phase*) et la sensibilité à la photopériode. Le marquage moléculaire devrait apporter de nouvelles informations sur le nombre et le rôle des gènes impliqués.

Le quatrième exposé a porté sur les « Causes et conséquences agronomiques du photopériodisme ». Les agriculteurs utilisent des variétés photopériodiques dont la durée du cycle varie en fonction de la date de semis. Ce comportement permet l'ajustement du cycle de culture aux longueurs probables de la saison des pluies. Le croisement réalisé entre un écotype guinea malien et une variété améliorée E 35-1 montre que le photopériodisme dépend d'un gène majeur pouvant facilement être transféré. Ceci devrait être exploité dans un programme de sélection.

Dans la discussion qui a suivi, des éclaircissements ont été demandés en ce qui concerne l'utilisation des gènes du nanisme et la possibilité d'utiliser des géniteurs à phyllochrone lent pour diminuer la taille du matériel photopériodique par diminution du nombre d'entre-nœuds. Il ressort que, dans la collection évaluée, un caudatum nain à phyllochrone lent ainsi qu'un guinea à phyllochrone lent et à entre-nœud court ont été identifiés. Les croisements ont été effectués et des lignées prometteuses ont été identifiées, qui feront l'objet d'études futures.

Le cinquième exposé était intitulé « Development of laboratory tests to evaluate sorghum quality ; relationships with some physico-chemical characteristics of the grains ». Deux tests ont été développés pour déterminer les qualités de grain de sorgho qui produiront un bon tô et un bon bogobe. La qualité du tô dépend de la qualité de la technologie de préparation et de la variété de sorgho. Le décorticage joue également un rôle important. De l'analyse de 32 cultivars

de sorgho, il ressort que les variétés riches en amylose et en amidon soluble donnent un tô de meilleure qualité. Il est donc suggéré que ces caractères soient pris en compte dans les programmes de sélection. Un bon bogobe dépend de la technologie de préparation et de la variété de sorgho.

Cet exposé a donné lieu à une discussion, au cours de laquelle on a indiqué que le test mis au point pour la qualité du tô faisait appel à un équipement coûteux mais qui a permis d'obtenir des résultats très précis. Cependant, d'autres laboratoires que celui du Cirad-Ca, notamment le laboratoire de l'Ier au Mali, ont mis au point des tests plus simples mais aussi efficaces pour cribler les variétés en sélection. Des éclaircissements ont été apportés sur l'influence du milieu (acide, neutre, alcalin) et les conditions de conservation de grain pour la production du tô. Sur ces différents points, il faut dire que :

- des études spéciales sur l'influence de la conservation des grains n'ont pas été réalisées. Par contre, plus la durée de conservation de la farine est longue, même en condition de froid, plus la qualité du tô diminue ;
- en ce qui concerne la production des grains, on peut penser que les conditions climatiques ou agronomiques ont forcément un effet sur la qualité des grains ; l'augmentation trop forte de la teneur en protéines par suite d'utilisation d'engrais devrait intervenir de façon négative sur la qualité du tô ; la farine contenant plus de protéines et donc moins d'amidon et d'amylose ;
- les tests au laboratoire ont été effectués en milieu neutre ; ceci rend possible l'exploitation des résultats dans plusieurs pays ;
- le milieu influence la consistance du tô ; pour une même variété, un tô préparé en milieu acide sera plus ferme qu'un tô préparé en milieu alcalin.

Le sixième exposé a porté sur l'« Identification de locus intervenant dans l'expression de caractères quantitatifs pour l'amélioration du sorgho au Cirad ». Des techniques de marquage moléculaire développées par le Cirad ont été utilisées pour établir une carte génétique du sorgho. Deux zones génomiques majeures et indépendantes pour les composantes de la productivité et de la qualité du grain ont été identifiées, d'une part pour le poids et le nombre de grain par panicule, le poids de mille grains, la forme de la panicule et la faculté germinative et d'autre part pour la teneur en amylose du grain, la vitrosité du grain, la dureté du grain et un locus codant pour l'absence de couché brune. Les travaux futurs permettront de mieux comprendre le déterminisme génétique de ces caractères.

Lors de la discussion, des compléments d'informations ont été demandés sur des techniques de cartographie moléculaire plus simples que les Rflp pour les sélections assistées par marqueurs (Sam) et sur

l'intérêt pratique des cartographies moléculaires des gènes de sorgho. En ce qui concerne l'intérêt pratique des cartographies moléculaires, les techniques Sam sont utilisées dans les pays du nord par les compagnies privées et les instituts de recherche. Ces techniques permettent une sélection rapide avec l'utilisation de back-cross. En Afrique, elle devrait se développer dans des stations de recherche comme celle de l'Icrisat-Cirad. Les sélectionneurs nationaux devraient exprimer leur demande. Ces techniques sont adaptées au transfert de gènes de résistance à des maladies ou insectes. Les techniques Sam nécessitent un effort pluridisciplinaire. Il faut noter que les analyses Rflp sont des techniques lourdes et coûteuses demandant des gros moyens. La méthode Pcr et les techniques de marquage qu'elle utilise sont plus simples et moins chères. Elle devrait permettre de faciliter les sélections assistées par marqueurs.

Le septième exposé était intitulé « Utilisation des sorghos guinea en sélection dans le programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad ». Les sorghos guinea sont caractérisés par une grande diversité des caractères. Leur croisement avec des sorghos d'autres races donnent souvent des lignées peu intéressantes. Trois groupes génétiquement différenciés de sorgho guinea ont été identifiés ; ceci permettra de mieux orienter les croisements. Les travaux de sélection menés par l'équipe Icrisat-Cirad ont permis d'identifier l'accession Is 15401 qui est résistante au *Striga* et à la cécidomyie. De même la sélection généalogique a permis de développer deux lignées Cgm 19/9-1-1 et Cgm 39/22-1-2 qui donnent des rendements de 25 à 30 % plus élevés que ceux des autres guinea de la sous-région. La lignée Cirad 406 (= Icrisat 2001) a été également développée grâce aux croisements d'un sorgho guinea avec un sorgho caudatum en recombinaison des caractéristiques intéressantes des deux races.

## Discussion générale et recommandations

Plusieurs sujets d'intérêt général ont été abordés dans la discussion générale :

- les nouvelles orientations de l'Icrisat et du Cirad ;
- les programmes de sélection orientés sur la qualité de grain ;
- l'utilisation de farines composées.

En ce qui concerne les nouvelles orientations de l'Icrisat et du Cirad, il y a nécessité de se concentrer de plus en plus sur une recherche stratégique. Ceci est une demande du système Cgiar et des bailleurs de fonds. La recherche appliquée devrait cependant se poursuivre en Afrique pour répondre aux demandes des utilisateurs et du développement. La collabora-

tion future avec les Snra devrait se faire sous la forme de programmes de chercheurs visiteurs afin que les différents chercheurs puissent travailler ensemble beaucoup plus étroitement. Des projets conjoints seront développés entre les partenaires.

Les critères de qualité de grain varient en fonction des utilisations. Actuellement l'accent est mis sur les qualités du grain servant à la production du tô. Il serait intéressant de travailler aussi sur les sorghos à bière. Des essais de fabrication de pain ou de pâtes alimentaires à partir de farines composées ont été menés dans de nombreux instituts de recherche dans les années 80. Il ressort que l'addition de 20 à 30 % de farine de sorgho n'altère pas la qualité du pain à condition que cette farine soit de bonne qualité.

Les principales recommandations ont été :

- poursuivre l'étude du déterminisme génétique de la sensibilité à la photopériode afin de permettre l'exploitation de ce caractère en amélioration variétale ;
- caractériser les aires d'adaptation des principales variétés locales de manière à fournir au sélectionneur, un référentiel technique, et au vulgarisateur une grille de décision dans le choix des variétés ;
- poursuivre la recherche de corrélations entre types de produit de transformation du sorgho et les caractéristiques technologiques, biochimiques du grain, de manière à fournir au sélectionneur un référentiel technique et aux transformateurs une grille de décision ;
- cribler le germoplasme local afin de mieux définir les domaines spécifiques d'utilisation des cultivars ;
- former les sélectionneurs dans l'utilisation des techniques de marquage moléculaire ;
- renforcer le partenariat entre les Snra, les Cirad et les institutions de recherches avancées (Ari) et lancer des projets collaboratifs dans le domaine du transfert de technologies nouvelles ;
- caractériser, sur le plan génétique, les interactions entre photopériodisme et qualité du grain.

---

Papers presented during this session devoted to sorghum breeding dealt with:

- sorghum response to photoperiod and temperature;
- sorghum grain quality for tô and bogobe;
- characterization of sorghum genome using molecular markers;
- use of guinea sorghums in breeding programs.

## Summary of presentations

The first paper was titled « Influence of night temperature on the response to photoperiod of a West African guinea landrace ». Two methods were used to study the influence of night temperatures on the



guinea landrace IS 7680. Using the first method (CERES), which takes into account mean daily temperatures, it was not possible to establish the genetic parameters for the phenological development in this photoperiod sensitive landrace. The second method, based on minimum night temperatures fitted the experimental data satisfactorily to the Major and Vergera's model. IS 7680 was shown to be a highly photoperiod sensitive cultivar whose floral induction requires high night temperatures. Most guinea sorghums in the sub-region exhibit photoperiod and night temperature reactions similar to that of IS 7680.

The second presentation dealt with the « Characterization of various responses to temperature and photoperiod of African sorghum cultivars ». The model used to describe temperature and photoperiod response of IS 7680 was applied to IS 9508, a southern African kafir, and SSM 973, a durra from Senegal. The kafir cultivar showed no photoperiod sensitivity at Samanko. The durra cultivar showed a strong photoperiod reaction and a very low thermal duration of its vegetative period. This reaction is likely to explain the suitability of this durra cultivar for the receding moisture conditions of the post-rainy season in which it is cultivated. The three cultivars (IS 7680, IS 9508 and SSM 973) showed thermo-photoperiodic responses that correspond to their suitability for cultivation in contrasting environments.

Following these two presentations, clarification questions were asked on: 1) the influence of the moisture regime on the reactions observed, and 2) the intrinsic earliness in sorghums. Regarding the moisture regime, the rainy season sowings could have experienced occasional stress whereas the post-rainy season sowings had non limiting moisture conditions that should not have influenced the thermo-photoperiodic reactions. The intrinsic earliness is the minimum length of the vegetative phase. It is a characteristic of each genotype when it is grown under optimal photoperiod conditions. The vegetative period of a cultivar cannot be shorter than its intrinsic earliness.

The third paper was titled « Study of the genetics of photoperiod response in guinea sorghums ». Most guinea sorghums are photoperiod-sensitive, which make them highly adaptable to climatic and biotic constraints. On the other hand, improved cultivars are generally non-photoperiod sensitive and therefore not adapted to traditional cropping systems. The purpose of this study was to better understand the genetics of the photoperiod response to facilitate its incorporation into improved cultivars. Studies conducted on  $F_1$ s and  $F_2$ s showed that photoperiod response was dominant and controlled by at least two major genes (including the Ma1 gene). Similarly, the study of recombinant inbred lines suggested that several genes affect the Basic Vegetative Phase (BVP) and the sensi-

tivity to photoperiod. Molecular marker studies should provide more information on the number and role of the genes involved.

The fourth presentation dealt with the « Causes and agronomical consequences of photoperiod sensitivity ». Farmers sow photoperiod sensitive varieties whose growth durations vary according to the sowing date. This behavior makes it possible to adjust the growth duration to the length of the rainy season. Crossing a Malian guinea landrace with the improved variety E 35-1 showed that photoperiod sensitivity is under the control of a major gene which can be easily transferred. This result should be used by sorghum breeding programs.

In the discussion that followed, clarification questions were asked regarding the use of dwarf genes and the scope for using low phyllochron genitors to reduce the height of photoperiod sensitive material through reduced number and length of internodes. In the collection studied, a dwarf caudatum with low phyllochron and a short-internode guinea with low phyllochron were identified. Crosses were made and promising progenies were identified which will be studied further.

The fifth presentation was titled « Development of laboratory tests to evaluate sorghum quality; relationships with some physico-chemical characteristics of the grains ». Two tests were developed to determine grain sorghum qualities conducive to satisfactory tô and bogobe. Tô quality depends on the food preparation technique and on the sorghum variety used. Dehulling also plays an important role. The analysis of 32 sorghum cultivars showed that varieties with high amylose and soluble starch contents produced better tô. It was therefore suggested that these parameters be taken into account by breeding programs. As for bogobe, it was found that food quality depends both on the preparation technique and the sorghum variety used.

Discussion was opened regarding the precision and expense of equipment for tô quality tests. Other laboratories, notably that of IER in Mali, have developed tests which are simpler although as efficient as that of CIRAD-CA for varietal screening. Clarification was brought on the influence of the pH of the medium (acidic, neutral, alkaline) and the conditions of conservation of the grain used for tô preparation. It was notably said that:

- special studies on the specific effect of grain conservation were not conducted; on the other hand, the longer the period of flour conservation, even under cold conditions, the lower the tô quality;

- as for grain production, climatic and agronomic conditions necessarily affect grain quality; a too rapid increase of protein content following fertilizer use



would adversely affect tô quality, as protein content would be higher and starch and amylose contents reduced in the flour;

- laboratory tests were carried out in a neutral medium; this makes it possible to use the results in several countries;

- medium influences tô consistency; for a given variety, tô is prepared under acidic conditions is more consistent than when prepared under alkaline conditions.

The sixth presentation dealt with the « Identification of loci involved in the expression of quantitative characters for sorghum improvement at CIRAD ». Molecular marker techniques developed by CIRAD were used for establishing a genetic map of sorghum. Two major and independent zones in the genome were identified for productivity and quality component, notably weight and number of grains per panicle, thousand grain weight, panicle shape and germination rate on the one hand, and grain amylose content, grain vitreosity and grain hardness on the other hand; a locus coding for the absence of subcoat was also identified. Future work will aim at a better understanding of the genetics of these characters.

During the discussion, additional information was requested on molecular mapping techniques that are simpler than RFLPs for Marker Assisted Selection (MAS), and on the practical use of mapping sorghum genes. As for the latter, it was indicated that MAS techniques are already in use in the northern hemisphere by the private sector and research institutes. These techniques make it possible to rapidly select using back-crossing. In Africa, these techniques could be developed in research stations such as that of ICRISAT-CIRAD. Breeders in NARS should express their needs. This technique is adapted to the transfer of genes for resistance to diseases or insects. MAS techniques require a multi-disciplinary effort. One should note that RFLP techniques are costly and require major facilities. The PCR marker technique is simpler and cheaper and should make MAS more feasible.

The seventh presentation was titled « Utilization of guinea sorghums by the breeding program of the ICRISAT-CIRAD Joint Sorghum Program ». Guinea sorghums are characterized by a large diversity of characters. Crossing them with sorghums from other races generally results in very low frequency of promising progenies. Three guinea groups were identified to be genetically distinct; this finding should facilitate the choice of crosses to make. Selection work conducted by the ICRISAT-CIRAD team resulted in the identification of the accession Is 15401 as resistant to Striga and sorghum midge. Similarly, pedigree breeding made it possible to develop two lines, CGM 19/9-1-1 and CGM 39/22-1-2 that outyield other gui-

neas from the sub-region by 25-30%. The CIRAD 406 (=ICRISAT 2001) line was also derived from a cross between guinea and caudatum sorghums in order to combine characters of interest from both races.

## General discussion and recommendations

Several topics of general interest were addressed during the general discussion:

- new orientations of ICRISAT and CIRAD;
- grain quality-oriented breeding programs;
- use of composite flours.

Both ICRISAT's and CIRAD's new orientations represent an increased focus on strategic research. This emphasis is requested by both the CGIAR system and donors. However, applied research should be pursued in Africa to meet the requests of users and the development sector. Future collaboration with NARS should involve visiting scientist positions that enable scientists to work more closely together. Joint projects will be developed between partners.

Grain quality criteria vary according to end uses. Emphasis is now put on grain quality for tô preparation. It would be interesting to also work on sorghums with brewing qualities. In the eighties, attempts were made in numerous research institutions, to make bread or pastas from composite flours. They showed that adding 20-30% sorghum flour does not affect bread quality as long as a good quality sorghum flour is used.

The main recommendations were:

- pursue studies on the genetics of photoperiod sensitivity to facilitate its use in breeding programs;
- characterize the area of adaptation based on their photoperiod sensitivity of major landraces to facilitate their utilization by breeders development agents;
- pursue research on correlations between the various types of sorghum end-products and the processing ability and bio-chemical characteristics of the grain so as to provide breeders and the processing sector with essential basic information;
- evaluate local germplasm to better define the utilization domains of specific cultivars;
- train plant breeders in the utilization of molecular markers;
- strengthen partnership between NARS, IARCs and advanced research institutions (ARIs), and implement collaborative projects in the area of transfer of new technologies;
- determine the genetic components of the interactions between photoperiod response and grain quality.

# Rapport de la session II. Entomologie

## Report of session II. Entomology

A. RATNADASS

Coordonnateur

S. DA

Président

R. BANDYOPADHYAY, B. CISSE

Rapporteurs

La session était structurée de façon que les six présentations s'enchaînent, de façon logique, sur l'inventaire des insectes ravageurs en Afrique de l'Ouest et du Centre (Aoc), leur répartition et les pertes occasionnées, la bioécologie des principaux ravageurs en Aoc, la résistance de la plante-hôte, et les possibilités de lutte. Ces communications portaient sur :

- les insectes nuisibles du sorgho en Afrique de l'Ouest ;
- les insectes ravageurs du sorgho en Afrique de l'Ouest et du Centre : répartition et pertes occasionnées ;
- la bioécologie des foreurs des tiges du sorgho en Afrique de l'Ouest et les perspectives de lutte intégrée ;
- la bioécologie de la punaise des panicules *Eurystylus oldi*, un ravageur-clé du sorgho au Mali ;
- la résistance variétale du sorgho à *Eurystylus oldi* en Afrique de l'Ouest ;
- l'effet insecticide d'extraits de Pourghère sur les foreurs des tiges et les punaises des panicules de sorgho au Mali.

### Résumé des communications

La communication de Y.O. Doumbia a fourni un inventaire des ravageurs-clés du sorgho en Aoc. Bien que plus de 100 espèces d'insectes aient été citées sur sorgho, seules quelques-unes présentent une importance économique. Ces ravageurs ont été classés en trois catégories, selon qu'ils attaquent les plantules, les feuilles et les tiges, ou la panicule. Les plus importants sont la mouche des pousses pour la

première catégorie, plusieurs espèces de foreurs des tiges pour la deuxième, et les punaises des panicules et la cécidomyie pour la troisième. Les foreurs importants en Aoc appartiennent aux genres *Busseola*, *Sesamia*, *Chilo* et *Coniesta* (= *Acigona*). La répartition et l'importance de ces insectes ravageurs dans différents pays de la région ont été indiquées. Les domaines de recherche explorés dans le passé ont été mentionnés, et les structures nationales et internationales collaboratives ont été nommées, notamment l'Icrisat et l'Intsormil.

Dans sa communication O. Ajayi a précisé la répartition des ravageurs et les pertes occasionnées en Aoc, s'appuyant sur des prospections, enquêtes et études d'estimation de pertes récemment menées par l'Icrisat-Cirad au Mali, l'Icrisat au Nigeria, et les Snra. Les principaux ravageurs mentionnés étaient la mouche des pousses, les cercopides, les foreurs des tiges, la cécidomyie, les punaises des panicules et les ravageurs des stocks. Bien que la cécidomyie soit présente dans toute la région, elle n'a pas d'importance économique réelle dans le contexte actuel. On rencontre essentiellement trois espèces de cercopides à travers l'Aoc. Ces insectes transmettent une bactérie qui provoque la maladie des taches chlorotiques du sorgho. On a rapporté des pertes de rendement de 26 à 35 % dues aux cercopides, et de 16 à 63 % dues aux foreurs des tiges. L'incidence de la cécidomyie est normalement faible en Aoc, mais les dégâts peuvent être sérieux en cas de semis tardifs et échelonnés. Les punaises des panicules sont de loin les plus importants et les plus répandus des ravageurs du sorgho en Aoc, et sont à l'origine de pertes à la fois qualitatives et quantitatives. Les variétés améliorées de race *caudatum* sont les plus sensibles. Au Tchad et



au Cameroun, des prospections ont montré que respectivement 79 % et 66 % des panicules abritaient le ravageur, avec des populations atteignant 180 punaises par panicule. Une dizaine d'espèces de ravageurs des stocks ont été signalées au Mali, dont la principale est *Rhyzopertha dominica*, mais ces ravageurs occasionnent moins de 1 % de pertes sur les variétés locales stockées en greniers traditionnels. Les suggestions en termes de besoins en recherches futures ont porté sur la façon dont les ravageurs passent la mauvaise saison, les seuils de nuisance économique, et les méthodes de lutte contre ces ravageurs.

La communication de D. Dakouo a passé en revue les recherches effectuées sur les lépidoptères ravageurs au Burkina Faso et au Mali, particulièrement sur *Busseola fusca* et *Sesamia* spp. De nombreux travaux ont été consacrés à l'étude des dynamiques des populations (notamment par piégeage phéromonal), de la diapause, aux techniques d'élevage de masse, au criblage pour la résistance variétale, à l'effet de l'association de cultures sorgho-niébé, etc. Parmi les perspectives de recherches citées pour l'avenir, les plus importantes ont été : 1) la résistance variétale (criblage avec insectes issus d'élevage, composantes de la résistance, approches biotechnologiques en vue du développement de variétés résistantes) ; 2) les approches écologiques (effet des pratiques culturales et particulièrement de la gestion des résidus de récolte dans la lutte contre les foreurs, prédiction des infestations par modélisation) ; 3) l'impact économique et l'utilisation des ennemis naturels ; et 4) l'inventaire et l'évaluation des savoirs traditionnels.

A. Ratnadass a présenté les travaux sur la bioécologie de la punaise des panicules *Eurystylus oldi*, menés par l'Icrisat-Cirad de 1991 à 1996. Il a abordé divers aspects, à savoir le cycle de vie, la dynamique des populations, les plantes-hôtes alternatives, les facteurs affectant la bioécologie et l'incidence des punaises tels que le climat et les ennemis naturels. Dans les études de dynamique des populations, deux pics de pullulation des populations de punaises ont été observés à Samanko. Une analyse des données par le logiciel « Window » a montré que la température et l'humidité relative minimales influençaient de façon significative les dynamiques de populations de punaises. Des araignées, forficules et punaises prédatrices, ont été identifiées comme ennemis naturels, mais leur impact n'est pas connu. Une découverte importante est l'identification du ricin (*Ricinus communis*) comme hôte alternatif d'*E. oldi*. Cela ouvre des perspectives de réduction des dégâts sur sorgho en luttant contre le ravageur sur le ricin. Enfin, dans le domaine de l'interaction punaises/moisissures des grains, reconnu comme prioritaire, des études sont en cours, dans le cadre du Rocars.

Dans sa communication, A. Ratnadass a mentionné que les objectifs des recherches en matière de résistance variétale menées par l'Icrisat-Cirad de 1989 à 1996 étaient : l'identification de sources de résistance parmi les variétés à panicule compacte, la détermination des facteurs liés à la résistance, les bases génétiques de cette résistance, et la sélection de variétés de sorgho combinant de bons niveaux de résistance avec des caractéristiques agronomiques intéressantes. Des progrès significatifs ont été réalisés dans tous ces domaines. Malisor 84-7, une création variétale de l'Icrisat, a été utilisée comme source de résistance pour développer 87W810, une variété améliorée combinant de bons niveaux de résistance aux punaises, de rendement et de qualité du grain. Suite à des études menées par le Cirad-Ca à Montpellier, le durcissement rapide du grain en maturation a été identifié comme un facteur associé à la résistance de Malisor 84-7. Des études sur la génétique de la résistance ont montré qu'elle était principalement contrôlée par des gènes additifs, ce qui fait de la sélection généalogique une méthode de création variétale adaptée. Les recherches futures concerneront la sélection assistée par marqueurs (dans le cadre d'un projet financé par l'Ue), l'évaluation multilocale de descendances prometteuses (en collaboration avec le Rocars), l'identification d'autres facteurs (tels que caractéristiques des glumes, teneur des grains en composés phénoliques, etc.) associés à la résistance, et des études en milieu réel visant à fournir des renseignements sur le niveau de résistance requis en champs paysans du fait d'une possible « dilution » de l'infestation avec l'extension des surfaces cultivées.

B. Cissé a présenté des résultats sur l'efficacité d'extraits de plantes pour la lutte contre les punaises des panicules et les foreurs des tiges. Bien que les extraits de Pourghère (huile brute et esters de phorbol) aient montré un effet insecticide significatif sur *B. fusca* et *S. calamistis* au laboratoire, l'application de graines broyées dans le corset foliaire, dans le cadre d'essais au champ, n'a pas eu d'effet sur les foreurs. En revanche, on a obtenu une réduction significative des dégâts de punaises par pulvérisation d'huile en formulation Ulv ou d'esters de phorbol en formulation Ce sur les panicules. Les recherches sur l'effet insecticide des substances dérivées de plantes vont se poursuivre dans le cadre du projet financé par l'Ue.

## Discussion générale et recommandations

La discussion générale a été structurée autour de trois thèmes : la valeur scientifique et la pertinence des recherches ; la validation des technologies ; et les



perspectives de recherches futures et d'utilisation des résultats dans la région. Si certains de ces aspects dépendent des Snra, d'autres dépendent des techniques et ressources disponibles.

Concernant la pertinence, il faut admettre que bien que de nombreux travaux de recherches entomologiques aient été effectués dans la région, beaucoup restent encore à conduire. Des progrès significatifs ont été accomplis en matière d'identification des ravageurs prioritaires dans la région, de compréhension de la bioécologie des principaux ravageurs, et de développement de variétés de sorgho résistantes (particulièrement dans le cas des punaises des panicules). Cependant, des lacunes subsistent, et des recherches sont proposées pour les combler, notamment :

- une meilleure connaissance des ennemis naturels, la compréhension des raisons de leur manque d'efficacité dans le contrôle des populations de ravageurs et la définition de stratégies pour augmenter cette efficacité ;
- l'identification des mécanismes de résistance aux principaux ravageurs ;
- le développement de variétés résistantes aux ravageurs à rendement amélioré (particulièrement dans le cas des punaises) ;
- l'identification de marqueurs moléculaires et l'utilisation de la sélection assistée par marqueurs pour développer des variétés résistantes aux punaises ;
- l'échange et l'évaluation multilocale des génotypes résistants aux ravageurs actuellement disponibles ;
- l'identification de composantes de programmes de lutte intégrée à partir de l'étude de l'influence des pratiques culturales, particulièrement les associations de culture et la gestion des résidus de récolte ;
- l'inventaire, l'évaluation et l'exploitation des savoirs traditionnels pour la lutte contre les ravageurs ;
- la modélisation en vue de la prévision des infestations de foreurs et de punaises ;
- la mise au point et la diffusion de méthodologies de recherche en matière d'estimation des pertes ;
- la compréhension du phénomène de diapause et l'exploitation de l'information en lutte intégrée par le biais de moyens appropriés ;
- la détermination des niveaux de résistance requis en conditions paysannes pour la gestion pratique des ravageurs en milieu réel.

On a noté que certains de ces aspects étaient pris en compte par le nouveau projet financé par l'Ue dans lequel le Cirad, l'université d'Heidelberg, l'Ier, le Cnesoler et l'Inera sont partenaires.

On a fait valoir que certaines technologies potentielles demandent à être validées afin de tirer tout le bénéfice des investissements en recherches consentis dans le passé par l'Icrisat-Cirad et les Snra. Parmi les domaines qui devraient être prioritaires en termes de

validation des technologies, les plus importants sont :

- l'adaptation de techniques de criblage pour l'identification de résistances aux principaux ravageurs ;
- le point sur les connaissances actuelles en matière de génétique des résistances comme appui à la sélection ;
- la lutte contre les punaises des panicules sur leur hôte alternatif (le ricin), comme moyen de réduction de leurs dégâts sur sorgho ;
- l'évaluation en milieu paysan de variétés résistantes prometteuses (avec un accent particulier sur les punaises et la cécidomyie), y compris l'étude de l'impact de la culture à grande échelle de variétés améliorées résistantes ou sensibles aux punaises, sur les dégâts de ces ravageurs ;
- le potentiel des substances dérivées de plantes dans la lutte contre les ravageurs du sorgho.

Des recherches effectuées au cours de la décennie passée, plusieurs technologies sont disponibles pour une utilisation pratique dans l'avenir. Pour diffuser ces technologies, une approche intégrée faisant appel à toutes les disciplines qui s'y prêtent, est nécessaire. Compte tenu de la diversité des Snra en Aoc, certaines technologies se verront mieux adoptées par certains Snra en particulier, alors que d'autres ne sont pas spécifiques. Différents points ont été identifiés.

La plus grande partie de l'information générée jusqu'à présent devrait faire l'objet d'une large diffusion, autorisée par une utilisation novatrice des technologies de l'information. Les participants ont ressenti un besoin et une demande authentiques pour des matériels pédagogiques tels que diaporamas des insectes ravageurs, brochures fournissant des renseignements synthétiques sur les ravageurs, manuels sur les techniques de criblage, etc. On dispose à présent de suffisamment d'informations pour publier un manuel sur les punaises des panicules propre à l'Aoc. L'utilisation du multimédia (cédérom) permettra une diffusion de l'information et une formation plus efficaces.

La mise au point de la technique d'élevage de masse de *B. fusca* est une avancée technologique significative qui pourra être utilisée par les Snra pour le criblage variétal.

Il faut stimuler l'adoption par les paysans des variétés résistantes aux punaises actuellement disponibles, par le biais des mécanismes appropriés de diffusion des technologies, tels qu'agences de développement et Ong.

Les recommandations faites dans cette session devraient être suivies par le biais d'un mécanisme approprié.

The session was structured in such a way that, in logical successions, six papers were presented on inventory of insect pests in West and Central Africa (Wca), pest distribution and losses, bioecologies of principal pests in Wca, host plant resistance (Hpr), and control options. The papers were:

- sorghum insect pests in West Africa;
- sorghum insect pest distribution and losses in Wca;
- bioecology of sorghum stem borers in West Africa and prospects for integrated management;
- bioecology of the panicle-feeding bug *Eurystylus oldi*, a key pest of sorghum in Mali;
- host plant resistance in sorghum to *Eurystylus oldi* in West Africa;
- insecticidal effect of Physic nut extracts on sorghum stem borers and head bugs in Mali.

## Summary of presentations

Dr. Y. O. Doumbia provided an inventory of key insect pests of sorghum in Wca. Although more than 100 species of insects have been reported on sorghum, only a few are economically important. These pests were divided as seedling damagers, foliage and stem feeders, and panicle feeders. The important pests under the three categories were shoot fly among the seedling pests, different species of stem borers among foliage and stem feeders, and head bugs and midge among panicle feeders. Species of *Busseola*, *Sesamia*, *Chilo* and *Coniesta* (= *Acigona*) are important stem borers in Wca. The distribution and importance of the insect pests in different countries in Wca were highlighted. Areas of research undertaken in the past were mentioned, and collaborating national and international institutes such as Icrisat and Intsormil named.

Dr. O. Ajayi detailed pest distribution and losses in Wca based on recent work on surveys and yield loss studies conducted by Icrisat-Cirad in Mali, Icrisat in Nigeria, and NARS. The main pests were mentioned as shoot fly, spittle bugs, stem borers, midge, head bugs and storage pests. While shoot fly is present throughout Wca, it is not economically important in the present scenario. Three main species of spittle bugs occur throughout Wca. The spittle bugs transmit a bacteria that causes yellow leaf blotch in sorghum. Yield loss of 26-35% have been reported due to spittle bugs, and 16-63% by stem borers. Normally, midge incidence is low in Wca but damage can be serious in late and staggered plantings. Head bugs are by far the most important and widely distributed insect pest of sorghum in Wca causing qualitative and quantitative losses. Improved cultivars in the Caudatum background are most susceptible. In Chad

and Cameroon, surveys have shown that 79% and 66% panicles harboured the pest, respectively, with bug density up to nearly 180 bugs/panicle. About nine species of storage pests have been reported from Mali of which *Rhyzopertha dominica* is the major, but they cause less than 1% damage on local varieties stored in traditional granaries. Suggested future research needs included determination of overseasoning, economic injury levels, and methods of control for these pests.

Dr. D. Dakouo reviewed the research done on lepidopterous pests in Burkina Faso and Mali. These included *Busseola fusca* and *Sesamia species*. Extensive research has been done on dynamics of population using pheromone traps, diapause, mass rearing techniques, screening for resistance, identification of resistance, effect of intercropping with cowpea, etc. Among the several research perspectives mentioned for the future, the important ones were 1) Hpr (resistance screening with mass reared insects, resistance components, biotechnological approaches to resistant cultivar development), 2) ecological approaches (importance of crop residue manipulation in pest management, prediction modelling, and effect of farming practices), 3) economic influence and manipulation of natural enemies, and 4) cataloguing and assessment of traditional knowledge.

Dr. A. Ratnadass reviewed the work on bioecology of panicle feeding bug *Eurystylus oldi* conducted by Icrisat-Cirad during 1991-1996. He presented aspects of life history, population dynamics, alternate hosts, factors affecting bioecology, effect of climate on bug incidence, and incidence of natural enemies. In population dynamics studies, two peaks of bug population were observed at Samanko. "Window" analysis showed that minimum temperature and minimum Rh had significant effects on head bug population. Spiders, earwigs and predacious bugs were identified as natural enemies, but their impact on pest control is uncertain. An important finding was the identification of castor (*Ricinus communis*) as an alternate host of *E. oldi*. This opens up the possibility of managing the pest on castor for reducing damage to sorghum. Further work is needed on head bug and grain mold interaction being conducted under the auspices of Wcasrn.

Dr. A. Ratnadass mentioned that the objectives of Hpr research of Icrisat-Cirad during 1989-1996 have been: identification of sources of resistance to head bugs in compact-panicle genotypes, factors affecting resistance, genetics of resistance, and selection of sorghum cultivars combining good levels of resistance with acceptable agronomic traits. Excellent progress has been made in all these research areas. Malisor 84-7, a cultivar developed earlier by Icrisat, was used as a parent to develop a more acceptable head bug resistant cultivar 87W810. This



cultivar has good agronomic and grain quality parameters. As part of studies conducted at Cirad-Ca Montpellier, rapid hardening of developing grains was identified as a factor governing resistance in Malisor 84-7. Studies on genetics of resistance indicated that resistance is mainly under additive gene action, and that pedigree breeding is, therefore, a useful method to breed for head bug resistance. Further research is planned on molecular marker-aided selection (as an Eu funded project), multilocal testing of promising progenies (in collaboration with Wcasrn), identification of more traits (e.g., glume characters, phenolics, etc.) associated with resistance, and on-farm studies to obtain information for practical management of the pest (e.g., resistance level required at the farm level and the influence of plot size to reflect the dilution effect of bug population).

Mr. B. Cissé presented results of studies conducted by Icrisat-Cirad, in collaboration with Cnesoler, on the efficacy of plant extracts for the control of head bugs and stem borers. Although Physic nut extracts (crude oil and Phorbol esters fraction) had a significant insecticidal effect on *B. fusca* and *S. calamistis* in laboratory tests, ground kernels in whorl application did not control stem borers in field trials. On the other hand, significant control of head bugs was obtained, using Ulv and Ec formulation of oil and Phorbol esters for panicle spraying. Further research on plant extracts will be conducted under Eu Project.

## General discussion and recommendations

The general discussion was structured around three themes. These were scientific soundness and relevance of research, validity of the results for technology use, and prospects for future research and use of results in the region. While some of these aspects are Nars dependent, others are technology and resource dependent.

While discussing relevance, it must be recognised that much entomology research has been done in the region, but more needs to be done. Significant progress has been made in recognising priority pests in the region, in understanding the bioecology of the major pests, in developing resistance screening techniques and identifying resistance, and in developing resistant cultivars particularly for head bugs. However, several gaps in knowledge remain that have been proposed for further research. Among others, these include:

- understanding the natural enemies, the reasons for their lack of efficacy in moderating pest populations, and devising strategies to improve their efficacy;

- identifying mechanisms of resistance to major pests;
- development of pest resistant cultivars in improved agronomic background particularly for head bugs;
- development of molecular markers and the potential of marker-aided selection for developing head bug resistant cultivars;
- sharing and evaluation of currently available pest resistant genotypes across locations;
- influence of farming practices such as intercropping, residue manipulation and other customs on pest damage with the aim to identify lpm components;
- documentation, evaluation and exploitation of traditional knowledge for pest management;
- prediction modelling for stem borer and head bug incidence;
- development and dissemination of methodologies for research on loss assessment;
- understanding diapause and exploiting the information in lpm through appropriate methods;
- understanding levels of resistance required on-farm for practical management of pests in farmers' fields.

It was noted that some of these aspects of future research will be taken care under the new Eu Project in which Cirad, University of Heidelberg, Ier, Cnesoler and Inera are partners.

It was felt that some potentially beneficial technologies remain to be validated to extract the advantages from past investment in research in Icrisat-Cirad and national programs. These areas should receive high priority due to reasons mentioned above. Among the areas identified for validity of technology use, the important ones were:

- adaptation of screening techniques to identify resistance to major pests;
- current knowledge of genetics of resistance to aid resistance breeding process;
- head bug management in alternate hosts of the pest (e.g., castor), as a means of head bug management in sorghum;
- on-farm evaluation of promising pest resistant cultivars with emphasis on head bugs and midge including the impact of large scale cultivation of improved, pest tolerant or susceptible cultivars on head bug damage;
- potential of plant extracts in controlling sorghum pests.

Through research in the past decade, several technologies are available that can be put to practical use in future. To diffuse these technologies, an integrated approach is required involving all relevant disciplines. Given the diversity in the Nars in Wca, different Nars have the potential for adopting different technologies while some technologies can be Nars non-specific. Different areas were identified:



– Much of the information generated until now should be disseminated by innovative use of information technology. The participants felt that there is a genuine need and demand for slide sets of insect pests, leaflets providing “snapshot” information on pests, bulletins on screening techniques, etc. There is sufficient information available now to put together a manual on head bugs specific for Wca. Use of multimedia (Cd-Roms) will be beneficial for effective information dissemination and training.

– Mass rearing of *Busseola fusca* is a significant advancement in technology that can be used by Nars for resistance screening.

– Stimulate farmers’ adoption of currently available head bug resistant cultivars through appropriate technology diffusion mechanisms such as extension agencies and Ngos.

The recommendations made in this session should be followed up through an appropriate mechanism.

# Rapport de la session III. Malherbologie

## Report of session III. Weed science

P. GRARD

Coordonnateur

D.E. HESS

Président

H. TRAORE, B.I.G. HAUSSMAN

Rapporteurs

La session malherbologie a montré que les efforts de recherche en collaboration avec le Cirad, l'Icrisat et les autres partenaires (notamment l'Ier et la Cmdt) ont contribué à une augmentation significative des connaissances sur :

- la présence, la répartition et l'importance des plantes parasites dans les principales zones agricoles du Mali ;
- la distribution et l'infestation des espèces de *Striga* sur les principales céréales en zone Mali-Sud ;
- les composantes potentielles de paquets de lutte intégrée contre le *Striga* incluant la résistance ou la tolérance variétale, la lutte agronomique, la lutte chimique ainsi que la lutte biologique.

Dans un futur proche, l'outil multimédia permettra, à travers le cédérom « *Striga-Doc* », de disposer, à moindre coût, d'informations sur l'identification, la biologie, les méthodes de lutte, la bibliographie avec une référence spéciale aux problèmes du *Striga* en Afrique.

### Résultats présentés

Les résultats les plus importants présentés à cette session se résument de la façon suivante :

- la famille des Scrophulariaceae, avec 5 genres et 17 espèces incluant les *Striga* est la famille la plus importante et la plus variable des mauvaises herbes parasites présentes au Mali ;

- *Striga hermonthica* est plus fréquemment observé sur céréales ; *Striga aspera* est plus fréquent en jachère et se retrouve dans une moindre mesure sur céréales (maïs) dans les régions de Bougouni et Fana ; *Striga asiatica* se retrouve essentiellement dans le milieu naturel tandis que *Striga gesnerioides* est particulièrement présent sur les cultures de légumineuses ;
- une enquête et des prospections effectuées dans 41 villages de la zone Mali-Sud ont révélé que le sorgho et le mil étaient les cultures les plus attaquées par le *Striga*, avec respectivement 43 et 40 % de champs infestés ; cette étude semble indiquer une forte adaptation du *Striga* au maïs au sud de cette région et au sorgho et mil au nord de cette région ;
- la compréhension du cycle de vie des plantes parasites démontre clairement que pour être efficace, toute méthode de lutte doit viser la réduction de la reproduction des mauvaises herbes parasites.

En termes de méthodes de lutte intégrée contre le *Striga*, les résultats suivants ont été obtenus :

- des variétés de sorgho résistantes au *Striga* ont été identifiées par les programmes de sélection, à savoir ls 15401 et Miksor 86-30-41 ;
- deux sarclages plus une seule application de 2,4-D (éventuellement en combinaison avec le Triclopyr lorsque ce produit sera disponible sur le marché) en début de floraison du *Striga* (autour de 60 à 70 jours après le semis) se sont montrés efficaces dans la maîtrise de *Striga hermonthica* occasionnant une augmentation du rendement grain du sorgho, synonyme de rentabilité de la lutte pour les paysans ; deux applications de 2,4-D à 35 et 70 jours après le semis

ont réduit davantage le nombre de *Striga* par rapport à une seule application sans entraîner toutefois de gain significatif de production du sorgho ;

– l'association d'une variété de sorgho tolérante au *Striga* et de niébé rampant en lignes et poquets alternés a entraîné une réduction du nombre et de l'incidence du *Striga* ;

– *Fusarium oxysporum*, un parasite du *Striga* agissant à tous les stades de développement de ce dernier, a été présenté comme ayant un fort potentiel en termes de contrôle biologique du *Striga*. Des méthodes simples d'application du *Fusarium* sont actuellement développées à l'Ier notamment par la production d'inoculum sur glumes de céréales. L'application de ce bioherbicide peut être facilement combinée à d'autres composantes de paquets de lutte intégrée contre le *Striga*, comme l'association culturale sorgho-niébé.

## Axes futurs de recherche

Différents ateliers ont fait le point des acquis et ont indiqué les futurs axes et priorités en matière de recherche sur le *Striga* (ainsi l'Icrisat *Striga* Sector Review à Samanko en mai 1996 et le 4<sup>e</sup> Atelier général du Pascon en octobre 1996). Une grande priorité doit être accordée :

– au développement de paquets techniques appropriés de lutte intégrée en fonction des régions ;

– au transfert de technologie : l'amélioration du niveau de connaissance des paysans sur la biologie et la lutte contre le *Striga* à travers la formation est un élément essentiel dans le transfert de technologie ; une coopération étroite entre les Snra et les réseaux est également capitale à cet égard.

L'utilisation de variétés résistantes ou tolérantes devrait être un élément-clé des paquets de lutte intégrée contre le *Striga* dans la mesure où elles ne demandent pas l'emploi d'intrants trop coûteux pour les paysans. Dans le but d'accélérer les processus de sélection, des efforts sont réalisés pour identifier des marqueurs moléculaires pour la résistance du sorgho au *Striga*. S'il y a une liaison étroite entre la résistance et les gènes marqueurs, le transfert de la résistance au *Striga* dans des variétés adaptées aux régions-cibles sera facilité par rétro-croisements (back-cross) assistés par marqueurs.

En seconde priorité, des recherches de base doivent se poursuivre principalement sur :

– la dynamique des populations de *Striga*, y compris les études sur la dormance des graines et les raisons de l'existence d'années « à *Striga* » et d'années « sans *Striga* » ;

– l'existence de races physiologiques.

Enfin, il a été recommandé que soient entreprises des recherches multidisciplinaires visant à développer des stratégies de gestion intégrée et durable des principaux ravageurs du sorgho dans les principaux systèmes de production de la région, pouvant s'appuyer sur la fertilisation et les associations de culture.

---

The Weed Science session showed that the collaborative research efforts of Cirad, Icrisat, and other partners (notably Ier and Cmdt) have significantly contributed to the increase in knowledge on:

– presence, distribution and importance of parasitic weeds in major agricultural zones in Mali;

– biological and ecological aspects of their life cycles;

– distribution and density of *Striga* species on major cereals in southern Mali;

– potential components of integrated *Striga* control packages, including: varietal resistance or tolerance; agronomic; chemical as well as biological control.

In the near future, "Striga - Doc", a multimedia Cd-Rom will make available (at low cost) information on *Striga* identification, biology, control methods, and bibliography, with special reference to Africa-related problems.

## Summary of results

Important results and implications for Mali and other countries in the region may be summarized as follows:

– the family of *Scrophulariaceae* with five genera and 17 species (including *Striga* spp.) is the most important and most variable family of parasitic weeds present in Mali;

– on cereals, *Striga hermonthica* is the most frequently observed species;

– there is limited importance of *Striga aspera* on cereals reported from areas around Bougouni and Fana; *Striga gesnerioides* was present particularly in leguminous crops; *Striga aspera* and *Striga asiatica-lutea* were the predominant species in fallow and natural vegetation, respectively, and may be regarded as potential future enemies of the cultivated crops in the region;

– across 41 villages studied in southern Mali, sorghum and millet were generally affected by *Striga*;



with the percentage of infested fields amounting to 43 and 40%, respectively, for each crop; in southern Mali, there were indications of better "adaptation" of *Striga* to maize in the far south, and to sorghum and millet in more northerly areas. These results will be most useful for those researchers who plan to study the occurrence of *Striga* strains in Mali;

- understanding the life cycles of parasitic weeds is important since, to be effective, any control measure must aim at reducing their reproduction.

In terms of integrated *Striga* control measures, the following results were obtained:

- *Striga*-resistant cultivars were identified by the breeding program, i.e., Is 15401 and Miksor 86-30-41;

- two handweeding plus a single application of the herbicide 2,4-D (eventually in combination with Triclopyr once it is available on the market) at the time *Striga* starts flowering (around 60 to 70 days after planting) were shown to be effective in the control of *Striga hermonthica* and in increasing sorghum grain yield towards a higher overall rentability for farmers. Two applications of 2,4-D (i.e., one pre- and one post-emergence treatment at 35 and 70 days after planting, respectively) further reduced the *Striga* incidence but did not significantly increase sorghum grain yield compared to one post-emergence application;

- intercropping of spreading cowpea with a *Striga*-tolerant sorghum in alternating rows and hills was found to significantly reduce *Striga* emergence;

- *Fusarium oxysporum*, a fungal parasite of *Striga* attacking all growth stages, was shown to have a high potential use for biological *Striga* control. Simple methods of inoculum production on sorghum glumes are presently being developed at ICR. It was shown that the application of such a *Fusarium oxysporum*-based bio-herbicide is combinable with other integrated *Striga* control measures like the sorghum-cowpea intercropping.

## Future research directions

Future research directions and priorities have been identified at previous workshops and conferences, for example during the ICRISAT *Striga* Sector Review in May 1996, and the workshop of the Pan African *Striga* Control network (Pascon) in October 1996.

In accordance with the recommendations made during the above-mentioned meetings, it is suggested that high priority be given to:

- the development of appropriate integrated *Striga* management packages for specific regions using available technologies;

- technology transfer. Increasing farmers' knowledge about the biology and control of *Striga* is an important part of efficient technology transfer. Close cooperation with NARS and Networks is essential in this respect.

*Striga*-resistant cultivars could be a key component of integrated *Striga* control packages, as their cultivation does not require further expensive input from the farmers. In order to speed up the breeding process, efforts are underway to identify molecular markers for *Striga* resistance in sorghum. Provided there will be a close linkage between resistance and marker genes, the transfer of *Striga* resistance into cultivars better adapted to target area will be facilitated using marker-assisted back-crossing.

Although secondary in priority, basic research is needed in:

- the population dynamics of *Striga* including studies of *Striga* seed dormancy and the causes of incidence of "*Striga* years" and "non-*Striga* years";

- the existence of *Striga* strains.

Last but not least, it was recommended that multidisciplinary research efforts be undertaken with the aim to develop sustainable integrated pest management strategies for the major production systems in the region.

# Rapport de la session IV. Agronomie

## Report of session IV. Agronomy

J. GIGOU

Coordonnateur

S. KANTE

Président

A. GAKOU, F. GIRAUDY

Rapporteurs

### Résumé des communications

#### Intérêt des cultures associées

L'association du sorgho avec une légumineuse (arachide, niébé, soja, etc.) conserve mieux la fertilité du sol que le sorgho et les légumineuses en culture pure.

En absence d'engrais, l'association sorgho - arachide constitue un meilleur précédent cultural que le sorgho en culture pure ; en présence d'engrais, c'est l'association sorgho - niébé qui l'emporte.

Les cultures associées n'épuisent pas le sol aussi rapidement que les cultures pures ; par ailleurs, les associations sorgho - arachide et sorgho - soja améliorent les taux d'azote et de matière organique du sol par rapport aux cultures pures correspondantes.

Les associations sorgho - soja et sorgho - pois d'Angole, au Nigeria, permettent une diversification des cultures, offrant au paysan des options pour améliorer sa production alimentaire.

#### Place du sorgho et des autres céréales dans les systèmes de culture de la zone Mali-Sud

Les céréales représentent environ les deux tiers des superficies cultivées, le sorgho et le mil étant principalement cultivés dans le nord du bassin cotonnier et le maïs dans le sud.

Le sorgho est en culture pure dans les trois quarts des exploitations, et localement, en association avec le maïs ou le mil. Selon les caractéristiques climatiques et édaphiques et selon le niveau de l'intensification, les paysans font des choix raisonnés entre les trois cultures ; le sorgho (comme le mil) est très rarement cultivé de façon intensive.

#### Maintien de la fertilité des sols

Les principaux facteurs de dégradation de la fertilité des sols ont été présentés :

- conditions agroécologiques contraignantes (baisse de la pluviométrie, faible fertilité des sols) ;
- forte pression démographique (donc diminution des superficies disponibles et des temps de jachère) ;
- systèmes de culture peu appropriés à la conservation de la fertilité des sols ;
- lutte anti-érosive coûteuse à mettre en place ;
- peu d'utilisation d'engrais ;
- pas assez de fumure organique.

Les principaux problèmes d'acidification se rencontrent en milieu humide, mais ils peuvent exister en zone de savane. La tendance à l'acidification est accentuée sous culture par l'augmentation du drainage et par l'action de certains types d'engrais.

En situation d'acidité forte, l'intensification de la culture nécessite un apport de fumier (5 à 10 t/ha). La culture itinérante avec brûlis de la jachère permet de corriger à moindre coût l'acidité de l'horizon de surface.

En situation d'acidité moins forte, une augmentation des rendements est observée avec brûlis des pailles du

sorgho précédent. Une réponse favorable est obtenue avec apport de calcium sous forme de sulfate.

## Recommandations

Les pratiques culturales varient en fonction des traditions et du souci de minimiser les risques pour les paysans. La sécheresse et la pauvreté des sols semblent expliquer la répartition des cultures associées. Les études doivent être poursuivies pour mieux établir la performance et la durabilité des systèmes de cultures associées.

La restauration de la fertilité nécessite le développement de nouvelles stratégies plus volontaires. Certains ont proposé divers mécanismes de subvention. D'autres approches ont été citées, comme des systèmes de culture permettant une couverture maximale du sol, là où c'est possible.

## Summary of presentations

### Advantages of intercropping

Intercropping sorghum with legumes (groundnut, cowpea, soybean, etc.) maintains soil fertility better than their sole crops.

When no fertilizer is applied, the sorghum-groundnut intercrop is a better precedent than sole sorghum, while when fertilizer is applied, it is the sorghum-cowpea intercrop that ranks first.

Sorghum-legume intercropping systems do not deplete soil nutrients as rapidly as sole crops do; in addition, sorghum-groundnut and sorghum-soybean intercrops result in a lower decrease of soil content in nitrogen and organic matter, as compared to corresponding sole crops.

In Nigeria, sorghum-soybean and sorghum-pigeonpea intercrops allow crop diversification, thus offering the farmers options in view of increasing food production.

### Relative importance of sorghum and other cereals in the cropping systems of southern Mali

Cereal crops account for two thirds of the area under cultivation, sorghum and millet being cultivated mainly in the northern part of the cotton-belt, and maize in the southern most area.

Sorghum is cultivated as a sole crop in three quarters of the farms, and is locally intercropped either with maize or millet.

According to climatic and edaphic conditions, and depending on the level of intensification, farmers critically select their crop; sorghum (as well as millet) is seldom cropped under intensified conditions.

### Soil fertility maintenance

The main factors of soil fertility deterioration were presented:

- limiting agroecological conditions (drop in rainfall, low soil fertility);
- high population pressure (resulting in reduced land availability and shortened fallow time);
- cropping systems not adapted to soil fertility maintenance;
- soil conservation too costly to implement;
- low level of fertilizer utilization;
- low content of organic matter.

The main soil acidification problems are generally found in the more humid zones, but they can also be found in the savanna area. The trend towards acidification under cropping is worsened following an increase in draining and the action of certain types of fertilizers.

Under high acidity conditions, crop intensification requires manure application (5 to 10 metric tons per ha). Itinerant cropping with burning of the fallow is an economical means of reducing soil acidity in the soil upper layer.

Under lower acidity conditions, an increase in yield is obtained when burning the stalk residues of the previous sorghum crop. A positive response is obtained when Calcium is applied in its sulfate form.

## Recommandations

Cultural practices vary according to farmers' traditions and concern for risk minimization. Drought and poor soils explain intercropping systems distribution. Studies must be pursued in order to better establish the performance and sustainability of intercropping systems.

Restoration of soil fertility requires the development of new strategies, pursued with greater commitment than in the past. Various funding scenarios were proposed. Other approaches were mentioned, e.g. cropping systems maximizing soil coverage, wherever possible.



# Rapport de la session V. Développement : aspects variétaux et protection des cultures

## *Report of session V. Development: varietal aspects and crop protection*

J. CHANTEREAU

Coordonnateur

O. CISSE

Président

A. BRETAUDEAU, N. FANE

Rapporteurs

### Résumé des communications

Quatre communications ont été présentées à cette session :

- Etude de nouvelles variétés de sorgho en milieu paysan de la zone cotonnière au Mali (1995-1996) ;
- Potential of sorghum hybrids in West and Central Africa ;
- Evaluation de l'impact des recherches variétales de sorgho et de mil en Afrique de l'Ouest et du Centre ;
- Présentation d'Adventrop *Doc*, Coton *Doc* et Ento *Doc*.

La première communication présentée par J. Chanteureau était relative à des tests en milieu paysan en zone Cmdt conjointement menés par l'Icrisat-Cirad, l'Ipr, la Cmdt et l'Ier. Les avantages d'une telle collaboration entre structures de recherche et de développement ont été largement précisés, et la qualité des résultats recueillis grâce au suivi d'étudiants motivés de l'Ipr a été souligné. La simplicité du dispositif expérimental proposé dernièrement par un statisticien de l'Icrisat a facilité quelque peu la bonne conduite de l'étude. En 1995 et 1996, 30 essais ont été annuellement conduits dont 18 en zone nord-soudanienne et 12 en zone sud-soudanienne. Les résultats obtenus indiquent les bonnes performances de la variété

Mikso 86-30-41 en zone nord-soudanienne et de la variété Is 15401 en zone sud-soudanienne, et ce, aussi bien sur le plan du rendement que sur ceux du comportement vis-à-vis du *Striga* et de la qualité des grains. La photosensibilité de ces deux variétés a été mise en évidence alors que N'tenimissa est non photosensible ; ce dernier paramètre détermine souvent l'adaptabilité des variétés face à certaines contraintes climatiques. Par ailleurs, il a été montré que les deux variétés performantes présentaient une bonne stabilité de rendement. Les résultats des enquêtes menées en milieu paysan lors de l'étude sont très proches des résultats de la Cmdt, ce qui dénote si besoin est, de la qualité du travail. Ces enquêtes ont montré que le rendement n'était pas à priori le critère de base du choix et de l'adoption des variétés par les paysans ; ceux-ci s'intéressant, entre autres, à la qualité du grain, la tolérance vis-à-vis du *Striga*, l'architecture de la plante, la vigueur à la levée ; autant de paramètres dont on doit tenir compte dans les programmes de sélection. Les performances des variétés se sont traduites par des besoins importants en semences exprimés par les paysans lors de visites interpayannes sur les tests.

La deuxième communication présentée par D.S. Murty traitait de l'intérêt de l'utilisation des variétés hybrides de sorgho. L'auteur a passé en revue les résultats obtenus notamment au Nigeria en sta-

tion. Ces résultats indiquent clairement un potentiel de rendement plus élevé des variétés hybrides comparées aux variétés locales. Cet avantage diminue dans des conditions de fertilité réduite. Par ailleurs, les performances des hybrides sont remarquables quand ils sont cultivés en association avec des légumineuses comme l'arachide, le niébé, le soja ou le pois d'Angole. La nécessité de conduire des tests en milieu paysan en collaboration avec les programmes nationaux en Afrique de l'Ouest et du Centre a été soutenue, même s'il convenait d'approfondir certaines études sur les aspects ennemis de cultures. Les contraintes liées à l'adoption des variétés hybrides ont par ailleurs été traitées dans tous les détails, et on a conclu sur les possibilités d'utilisation d'hybrides à condition de mettre en œuvre les moyens nécessaires.

La troisième communication, présentée par A.M. Yapi et S.K. Debrah était relative à l'évaluation en Afrique de l'Ouest et du Centre de l'adoption des technologies générées par la recherche sur le sorgho notamment variétale et l'impact de la recherche sur le développement économique. La méthodologie utilisée pour estimer l'impact de la recherche agronomique sur l'économie des pays a été brièvement passée en revue. Ce travail mené au Tchad, au Cameroun et au Mali avec la collaboration des Snra a permis de situer à des niveaux très divers l'adoption des technologies générées par l'amélioration variétale du sorgho. L'impact de la recherche sur le sorgho a été estimé dans tous ces pays et chiffré en plusieurs millions de dollars Us. Les conclusions et recommandations de cette étude peuvent se résumer en huit points :

- l'intérêt d'un transfert rapide des technologies générées par la recherche ;
- la nécessité pour les chercheurs de travailler en réseau ;
- l'utilisation des variétés locales de sorgho comme matériel de base pour l'amélioration variétale ;
- l'incitation des Etats à investir dans la recherche ;
- l'importance de la composante fertilité des sols dans les problèmes de développement de la culture du sorgho ;
- la facilité de l'accès des paysans au crédit ;
- l'approfondissement et/ou l'initiation d'études des filières ;
- la nécessité de mieux coordonner les activités des chercheurs, développeurs et entrepreneurs/industriels.

La dernière communication était relative aux démonstrations des logiciels multimédia *Adventrop Doc*, *Ento Doc* et *Coton Doc* par P. Grard et A. Ratnadass. La maniabilité et la richesse des informations contenues dans ces logiciels ont été présentées ; leur utilité pour les chercheurs, les dévelop-

peurs et même les étudiants a été hautement appréciée.

## Discussion et recommandations

On a expliqué les bonnes performances des deux variétés Mksor 86-30-41 et Is 15401 par leur origine locale.

Les discussions ont montré que l'utilisation des hybrides ne peut se justifier que si l'on met en place la logistique nécessaire ; on pense que ces variétés ont leur place dans les systèmes de production notamment pour répondre à la diversité des systèmes de culture.

Il apparaît que l'évaluation de l'impact de la recherche est complexe à apprécier, en raison de composantes difficiles à maîtriser, notamment les aspects environnementaux, sociaux, durabilité, etc. ; toutefois, l'étude indique nettement la rentabilité remarquable des résultats de la recherche.

Les conditions d'accès aux logiciels ont été abordées et ont montré l'existence de facilités d'acquisition pour les pays du Sud.

## Summary of presentations

- Four papers were presented at this session:
- On-Farm tests of new sorghum varieties in the Cmdt cotton belt of Mali (1995-1996);
  - Potential of sorghum hybrids in West and Central Africa;
  - Impact assessment of sorghum and pearl millet cultivar development in West and Central Africa;
  - Presentation of three Cd-Roms : *Adventrop Doc*, *Coton Doc*, *Ento Doc*.

The first paper presented by J. Chantereau provided information on varietal on-farm tests conducted in the Cmdt zone, as collaborative effort between the Joint Icrisat-Cirad sorghum program, Ipr, Ier and Cmdt. The benefits of this collaboration between research and development services were extensively documented and the quality of the results obtained by dedicated students of Ipr were commended. The conduct of the study was made easier following the adoption of a simple experimental design proposed by an Icrisat statistician. In both 1995 and 1996, 30 on-farm tests were annually conducted of which 18 in the northern sudanian zone and 12 in the southern sudanian zone. The results highlighted the satisfactory performance

of sorghum cultivar Miksor 86-30-41 in the north and Is 15401 variety in the south in term of yield, resistance to *Striga* and good grain quality. Both varieties were found to be photoperiod sensitive while N'tenimissa appeared to be photoperiod insensitive. This photoperiod sensitivity feature often accounts for varietal adaptation to climatic constraints. Moreover, Miksor 86-30-41 and Is 15401 showed reasonable yield stability. The results of surveys conducted at the farm level, parallel to the on-farm tests, were similar to those published by Cmdt which further validates the study. These surveys showed that better yield was not the only, or even the major criterion determining the adoption of new varieties by farmers, as these are also interested in seedling vigor, plant type, tolerance to *Striga* and grain quality. All these criteria have therefore to be considered by breeding programs. The good performance of the above mentioned sorghum cultivar resulted in large numbers of seed requested by farmers who saw the cultivars in the field during visits organized as part of the study.

The second paper which was presented by D.S. Murty addressed the advantages of sorghum hybrids. The author took stock of the results of on-station hybrid trials conducted mainly in Nigeria. These results clearly showed that hybrids had a higher yield potential than pure line varieties. This advantage decreased under poor soil fertility condition. On the other hand, hybrids performed outstanding when intercropped with legumes such as groundnut, cowpea, soybean or pigeonpea. It was recommended that hybrid trials be conducted on-farm, in collaboration with Wca Nars; on the other hand, the importance of putting more emphasis on the study of Integrated Pest Management aspects was also stressed. Constraints related to hybrid adoption were detailed and it was concluded that there is scope for hybrid utilization provided a suitable logistic environment.

The third paper presented by A.M. Yapi and S.K. Debrah addressed the adoption of technologies generated by sorghum research (mainly genetic improvement) and the impact of research on economic development in West and Central Africa. The methods used for assessing the impact were briefly reviewed. The study conducted in Chad, Cameroon and Mali in collaboration with Nars made it possible to characterize the different levels of adoption of technologies generated by sorghum varietal improvement. The economic impact of sorghum research was estimated at several million dollars in all these countries. Conclusions and recommendations of this study can be summarized in eight points :

- interest of a rapid transfer of the technologies generated by research;
- need for networking;
- use of local sorghum germplasm by breeding programs;
- encouraging governments to invest in research;
- importance of the soil fertility component in sorghum crop development problems.
- facilitation of farmer access to credit;
- investigation and/or initiation of production and processing network studies;
- need for better coordination between activities of scientists, development agents and private sectors.

The last presentation consisted in a demonstration by P. Grard and A. Ratnadass of the use of multimedia Cd-Roms: *Adventrop Doc*, *Ento Doc* and *Coton Doc*. The user-friendliness and the considerable amount of information enclosed in these softwares were stressed. Their usefulness for scientists, development agents and students was highly appreciated by participants.

## Discussion and recommendations:

The performances of the two varieties Miksor 86-30-41 and Is 15401 found explanation by their local origin.

The discussions showed that the use of hybrids is justified only if suitable logistic framework is provided. The general opinion was that there is a niche for hybrids in the production systems notably in view of responding to the diversity of cropping systems.

It appears that impact assessment of research is challenging because of components that are difficult to keep under control such as environmental and social aspects, sustainability, etc. Nevertheless, the study clearly demonstrated the outstanding profitability of research results.

The problem of access to Cd-Roms developed by Cirad was discussed and it was mentioned that countries from the South benefit from special concessions for their purchase at lower cost.



# Rapport de la session VI. Développement : aspects agronomiques

## *Report of session VI. Development: agronomic aspects*

J. GIGOU

Coordonnateur

J.B. DIABATE

Président

M. DOUMBIA, M. KONE

Rapporteurs

### Synthèse des présentations

Quatre communications relatives à la lutte anti-érosive, au maintien du potentiel productif et à la participation paysanne à la gestion de la fertilité ont fait l'objet de présentations et discussions au cours de cette session.

L'action lutte anti-érosive (Lae) dans le cadre de l'approche Drs s'appuie sur la collectivité villageoise ou l'ensemble des exploitations ayant leurs terres dans le même terroir, et l'utilisation d'un référentiel technique après le diagnostic des problèmes d'érosion.

Le maintien du potentiel productif porte sur trois aspects, à savoir :

- la gestion de la zone cultivable ;
- la gestion de la zone sylvo-pastorale ;
- l'intégration agriculture-élevage.

C'est un complément nécessaire pour rentabiliser les effets de la lutte anti-érosive.

A l'échelle individuelle, les aménagements en courbes de niveau, réalisables par le paysan, permettent d'une part de conserver l'eau et le sol et d'autre part, d'augmenter de façon appréciable les rendements, même si l'évaluation technique de l'augmentation des rendements est difficile à réaliser.

Des enquêtes sur le maintien du potentiel productif faites par la Cmdt, il ressort que les régions de Fana et

de Koutiala sont bien informées des techniques de lutte anti-érosive et qu'elles ont effectué les meilleurs taux de réalisation des techniques proposées. La démarche Lae a permis dans les villages Lae de multiplier par 2 à 2,8 selon les techniques, les actions de lutte anti-érosive effectivement réalisées par les paysans.

L'approche méthodologique participative développée par l'Espgrn, a permis de distinguer les exploitations suivant des critères de gestion et des critères structurels ; trois classes de gestions ont été identifiées.

La gestion de la fertilité (recyclage des résidus, fumier) est suivie chez et avec les paysans. Les résultats sont exposés aux paysans, ce qui leur permet d'améliorer leurs techniques.

### Recommandations

Concernant la lutte anti-érosive et le maintien du potentiel productif, il a été suggéré de :

- mener une étude d'évaluation des terres dégradées au Mali ;
- assurer une meilleure diffusion des techniques de lutte anti-érosive et de maintien du potentiel de production en zone Mali-Sud, et établir des grilles de qualité des ouvrages réalisés par les paysans ;

- évaluer les coûts et les bénéfices des aménagements individuels en courbes de niveau à l'échelle du champ ;
- simplifier la méthode Espgrn de participation paysanne et gestion de la fertilité pour une adoption plus facile par les services de vulgarisation.

## Summary of presentations

Four papers, relating respectively to erosion control, conservation of production potential, and farmer participation in fertility management, were presented and discussed during this session.

Erosion control (Ec) within the soil conservation (Sc) approach is based on the village community and farms, and the use of a technical referential, following the diagnosis of erosion problems.

Production potential conservation addresses three aspects:

- management of the area suitable for cultivation;
- management of the area suitable for sylvo-pastoralism;
- agriculture-livestock integration.

It is a necessary complement to make the results of the Sc approach more profitable.

At the individual farmer level, small contour terraces feasible by the farmer himself, allow better water and soil conservation, and a yield increase, even though the latter is technically hard to assess.

Following surveys on the production potential conservation conducted by Cmdt, it was found that

Fana and Koutiala regions are well informed on Sc techniques and that the highest rates of implementation of the proposed techniques were realized in these regions. The Sc approach resulted in a 2 to 2.8-fold increase in the number of erosion control actions implemented by the farmers in Ec villages, as compared to no-control villages.

The participatory methodological approach developed by Espgrn made it possible to differentiate farmers according to management and structural criteria; three management categories were identified.

Fertility management (residue recycling, manure) is being followed in the farmers' fields, and with the farmers' participation. Results are presented to the farmers, which allows them to bring improvements to their techniques.

## Recommendations

With respect to anti-erosion management and production potential conservation, it was suggested that:

- a study be conducted on the assessment of deteriorated lands in Mali;
- ensure a better diffusion of soil and production potential conservation techniques in the southern Mali area, and set-up grids for assessing the quality of pieces of work realized by the farmers;
- assess costs and benefits of individual contour line arrangements at the field level;
- simplify the Espgrn farmer participatory technique of fertility management, to make its adoption by extension services easier.

# Séance de clôture





## Discours du chef du programme céréales du Cirad-ca

J.-L. MARCHAND

Cet atelier s'achève. Il aura été riche par les résultats présentés, les discussions, les échanges, les points de vue confrontés. Nous n'avons certes pas résolu tous les problèmes touchant à la culture du sorgho, mais nous avons fait avancer les choses. Il me faut maintenant remplir un agréable devoir : dire merci.

Merci d'abord à vous tous, du Mali et d'ailleurs, qui avez, par votre présence active et, pour certains, par la présentation de résultats, largement contribué au succès de cet atelier.

Merci ensuite à l'Icrisat, qui nous a aidé dans la préparation de l'atelier, et dont la forte participation montre que la coopération entre le Cirad et l'Icrisat n'est pas un vain mot.

Merci également à ceux que l'on voit peu, mais qui ont eu la lourde charge de faire fonctionner l'atelier au quotidien et de résoudre mille petits problèmes : le secrétariat. Si tout s'est bien déroulé, c'est grâce à eux. Merci aussi aux interprètes, grâce à qui la barrière des langues a été surmontée.

Merci enfin à mes collègues de l'équipe française. Ils ont dû non seulement préparer les synthèses de huit ans de recherches, mais aussi organiser cet atelier. Ils savaient, lorsque nous en avons lancé l'idée, que ce serait un gros travail. Ils l'ont accepté et ils l'ont mené à bien.

Et je voudrais, avant de conclure, citer pour chacun d'entre eux deux résultats dont ils sont particulièrement fiers :

- en sélection, les travaux menés par C. Lucé puis par J. Chantereau, ont abouti à la création de Cirad 406, aussi connu sous le nom de Icsv 2001, première lignée issue d'un croisement guinea x caudatum, combinant les bonnes caractéristiques agronomiques des caudatum et la bonne qualité de grain des guinea et au choix de Is 15401, écotype du Cameroun, alliant une bonne productivité aux résistances au *Striga* et à la cécidomyie, qui diffuse spontanément au Mali ;
- en entomologie, les recherches d'A. Ratnadass ont abouti à la mise au point de l'élevage au laboratoire de *Busseola fusca*, sur laquelle plusieurs équipes piétinaient, et à l'utilisation de la résistance à la punaise des panicules de Malisor 84-7, transférée dans de bonnes variétés comme 87 W 810 ;
- en malherbologie, G. Hoffmann a montré que la combinaison d'un traitement en 2-4-D à 35 jours et, à 70 jours après la levée du sorgho sur *Striga* réduisait la population de *Striga* de plus de 90 % et multipliait le rendement du sorgho par trois ; d'autre part, P. Grard a réalisé le logiciel multimédia d'identification des adventices *Adventrop*, que vous avez pu apprécier ;
- en agronomie enfin, les travaux de P. Salez et J. Gigou ont mis en évidence le risque réel d'acidification du sol, souvent sous-estimé, et l'intérêt de la lutte contre l'érosion à la fois dans la conservation du sol, l'alimentation hydrique et le maintien de la fertilité.

## Discours du représentant de l'Icrisat

F. WALIYAR

Monsieur le directeur général de l'Ier,  
Monsieur le représentant de la mission française de coopération au Mali,  
Monsieur le responsable du programme céréales du Cirad,  
Monsieur le représentant de la Cmdt,  
Monsieur le coordonnateur du Rocars,  
Madame, Messieurs,

Au cours de cet atelier qui s'achève, vous ont été présentés les travaux réalisés par nos collègues du Cirad à Samanko, en collaboration avec les chercheurs de l'Icrisat, et des structures nationales de la région, et particulièrement du Mali. Cette collaboration exemplaire a été rendue possible, je le rappelle, grâce à un financement continu, assuré pendant huit ans, par le ministère français de la coopération.

Les résultats de ces travaux, vous les avez examinés de façon critique, vous avez discuté de leur pertinence, et de leurs applications pratiques pour le bénéfice des populations-cibles prioritaires, à savoir les agriculteurs les plus démunis des zones semi-arides d'Afrique de l'Ouest et du Centre. Il vous est apparu que beaucoup avait été réalisé au cours des huit dernières années dans le cadre de cette collaboration, mais que beaucoup restait encore à faire, en termes de recherche, de diffusion des connaissances et de développement des ressources humaines, de développement.

Pour nous, institutions de recherche, la fin d'un financement particulier (surtout lorsqu'il s'est poursuivi aussi longtemps, comme celui qui nous intéresse) est une chose normale en soi, puisqu'un financement correspond à une « commande » par le bailleur de fond, et qu'il n'a plus lieu d'être si celle-ci a été réalisée.

Toutefois, cela est vrai pour un projet particulier, or il reste que ce qui caractérise l'environnement actuel de nos institutions, c'est une réduction globale des ressources, alors que les besoins restent tout aussi importants, même s'ils changent. Cela ne vous a pas échappé, car lors des présentations générales, non contents d'apprendre que cet atelier correspondait bien à la fin de la présence d'une équipe française importante à Samanko, vous avez aussi, pour certains, été informés des réductions de financement de l'Icrisat et de ses conséquences en termes de réduction de ses activités (et ce même si l'Afrique de l'Ouest est moins touchée que d'autres régions du monde).

Pourtant, si cette réduction de nos financements doit nous interpellier, car elle semble bien être le signe d'une crise de confiance de nos bailleurs de fonds, elle doit aussi être pour nous l'occasion de réfléchir, et agir, pour mettre en œuvre de nouveaux partenariats et formes de collaboration.

A cet égard, nul doute que l'atelier qui s'achève ait œuvré dans ce sens. Il est en effet important de pouvoir montrer à nos bailleurs la valeur des résultats obtenus grâce à leur financement, et ainsi restaurer la confiance. Il est tout aussi important de réaliser que ces résultats n'ont pu être obtenus que grâce à une collaboration étroite entre plusieurs partenaires.

Ces nouvelles formes de collaboration, de partenariat, existent déjà, et c'est notamment le cas à Samanko, puisque la collaboration qui se poursuit avec le Cirad dans le domaine de l'entomologie du sorgho, est rendue possible grâce à une autre collaboration entre le Cirad et trois institutions nationales du Mali et du Burkina Faso, qui ont permis un financement par l'Union européenne.

D'autres « montages » de ce type, associant des Snra, une institution de recherche avancée (Ari) comme le Cirad, et un Cira comme l'Icrisat, sont possibles et souhaitables dans d'autres disciplines. A cet égard, nous avons la conviction qu'en matière d'amélioration variétale, même après son retour en France, le chercheur du Cirad continuera à apporter un appui à la sélection du sorgho dans notre région, et œuvrera dans le sens de tels partenariats.

En ce qui concerne l'Icrisat, on vous a indiqué que la réduction des effectifs de chercheurs allait se traduire par un partenariat accru avec les Snra, par le biais d'une importance plus grande accordée aux *visiting scientists*.

Enfin, je vous signalerai que si la collaboration entre l'Icrisat et le Cirad sur le sorgho change de forme, d'autres collaborations apparaissent. C'est notamment, dans la région, le cas du projet Cfc sur l'arachide, qui associe l'Icrisat, le Cirad et l'Isra (Sénégal).

Avant de passer la parole au directeur général de l'Ier pour son discours de clôture, je souhaite remercier nos collègues du Cirad qui nous quittent et leur renouveler l'assurance de notre conviction que, où qu'ils soient, nous continuerons à collaborer avec eux, pour le bénéfice des populations de la région.



## Discours du représentant de l'Ier

O. NIANGADO

Directeur général de l'Ier

Monsieur le directeur des programmes ouest et centrafricains de l'Icrisat,

Monsieur le responsable du programme céréales du Cirad,

Monsieur le représentant de la mission française de coopération au Mali,

Monsieur le représentant de la Cmdt,

Monsieur le coordonnateur du Rocars,

Madame, Messieurs,

Nous voici donc arrivés au terme des quatre jours de cet atelier de restitution du programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad. Quatre jours qui ont vu se succéder six sessions, au cours desquelles des présentations suivies de débats intenses ont permis de faire le point sur huit années de travaux de recherche et de développement portant sur l'amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du Centre, notamment dans les domaines de la génétique et de l'amélioration variétale, de l'entomologie, de la malherbologie et de l'agronomie.

Ainsi, lors de la session sur la génétique et l'amélioration variétale, vous avez fait le point sur les travaux réalisés par les différents participants en matière de photopériodisme et qualité des sorghos locaux. Les résultats débouchent sur une meilleure compréhension et connaissance génétiques de caractères-clefs pour l'adaptation des cultivars au climat ouest africain et leur adoption par les consommateurs. Il est donc à présent possible de caractériser et cribler plus efficacement le matériel en sélection pour l'obtention de variétés répondant mieux à l'attente des utilisateurs.

Dans le domaine de l'entomologie, vous avez noté les progrès significatifs accomplis en matière de détermination de l'importance relative des ravageurs du sorgho, et, concernant deux des principaux groupes, les foreurs et les punaises, en matière de connaissances de base et mise au point de méthodes de recherche, toutes deux préalables à la mise au point de techniques de lutte efficaces, notamment par les résistances variétales. Vos recommandations ont porté sur les besoins en recherche qui subsistent encore, sur les moyens de diffuser les connaissances acquises auprès des chercheurs et développeurs de la région, et sur la nécessité de valider les techniques de lutte identifiées.

En ce qui concerne la session sur la malherbologie, les différentes présentations ont fait ressortir l'importance des acquis de recherche des huit dernières années en termes de répartition et de bioécologie du *Striga*, et d'identification et évaluation de méthodes de lutte. Vous avez reconnu que si des recherches de base et des recherches multidisciplinaires étaient encore nécessaires dans certains domaines, l'accent devait également être mis sur la sensibilisation des paysans à certains aspects de la biologie du parasite, sur le développement de techniques de lutte intégrée acceptables par ces mêmes paysans en prenant en compte ses autres plantes-hôtes cultivées comme le mil et le maïs, dans le cadre des systèmes de production de la région.

Pour ce qui est de la session consacrée à l'agronomie, les différentes présentations ont fait ressortir l'intérêt des associations sorgho-légumineuses pour la stabilité des rendements et le maintien de la fertilité des sols. Des données sur la répartition et l'importance relative des différentes cultures en zone Mali-Sud ont été présentées. Vous avez également souligné les contraintes liées à la gestion des terres tant sur le plan agro-écologique, démographique, que sur le plan des techniques culturales et de la fertilisation. Vous avez aussi évoqué les contraintes liées à l'acidité des sols et les possibilités de résoudre le problème. Vos recommandations ont porté

sur l'utilisation de l'association sorgho-arachide pour la stabilisation du rendement, en fonction des stratégies de productions des différentes localités. Il est apparu nécessaire de redéfinir les politiques agricoles vers une plus grande incitation en faveur de mesures de maintien de la fertilité des sols.

Lors de la première session consacrée au développement, il a été rapporté les résultats encourageants d'une collaboration entre recherche et développement en matière de tests variétaux de sorgho en milieu paysan. On a particulièrement lié les performances intéressantes de deux variétés à leur origine locale. D'un point de vue global, il est apparu que l'évaluation de l'impact de la recherche était complexe à apprécier, en raison de composantes difficiles à maîtriser, notamment les aspects environnementaux, sociaux, durabilité, etc. ; toutefois, l'étude présentée a clairement indiqué la profitabilité remarquable des résultats de la recherche. Les discussions ont montré que l'utilisation des hybrides ne peut se justifier que si l'on est prêt à y mettre le prix ; on pense que ces variétés ont leur place dans les systèmes de production notamment pour préserver la diversité des systèmes de culture.

Les recommandations formulées à l'issue de la deuxième session consacrée au développement ont principalement porté sur la lutte anti-érosive (Lae) et le maintien du potentiel productif (Mpp), à savoir, la nécessité :

- de mener une étude d'évaluation des terres dégradées au Mali ;
- d'assurer une meilleure diffusion des techniques de Lae et de Mpp en zone Mali-Sud ;
- d'évaluer les coûts et bénéfices des aménagements individuels en courbes de niveau à l'échelle du champ ;
- de simplifier la méthode Espgrn de participation paysanne et gestion de la fertilité.

En outre, et de façon générale, vous avez reconnu la nécessité, pour répondre à la demande du Cgiar et des bailleurs de fonds, mais aussi des utilisateurs et du développement, que l'Icrisat et le Cirad se concentrent sur la recherche de base, devant servir la recherche appliquée en Afrique, par le biais de projets conjoints avec nos institutions nationales. Vous avez noté qu'à titre d'exemple, un tel projet existe déjà en entomologie, financé par l'Union européenne.

Madame, Messieurs,

Je remercie tout particulièrement les chercheurs venus des autres pays de la région, de l'Icrisat (Inde) et du Cirad (France) qui ont fait le déplacement ou ont prolongé leur séjour au Mali pour apporter leur contribution à cet atelier.

Je ne saurais oublier dans mes remerciements les interprètes et l'équipe de secrétariat qui n'ont pas ménagé leurs efforts pour faciliter la communication et les échanges pendant ces quatre journées de travail intense.

Tout en vous souhaitant à tous un bon retour dans vos pays, ou tout au moins dans vos foyers respectifs, je déclare clos l'atelier de restitution du Programme conjoint sur le sorgho Icrisat-Cirad.

Vive la coopération internationale et régionale,

Vive la recherche au service du développement.

Je vous remercie.

# Liste des participants





## Liste des participants

### Snra

#### Burkina Faso

Dr S. Da  
Chef du programme Somima  
Inera/Station de Farakoba  
01 BP 910  
Bobo-Dioulasso  
Tél. : 01: (226) 98 23 29  
Fax : (226) 97 09 60  
s/c sanou@fkb.inera.bf

Dr D. Dakouo  
Chargé de recherche/Inera  
01 BP 910  
Bobo-Dioulasso  
Tél. : (226) 97 09 60  
Fax : (226) 97 01 44  
dakouo@fkb.inera.bf

Dr H. Traoré  
Chef du Crea/Kouaré  
Inera  
BP 208  
Fada N'Gourma  
Tél. : (226) 77 01 87  
Fax : (226) 77 02 37

#### Cameroun

M. R. Kenga  
Sélectionneur de sorgho  
Ira  
BP 33  
Maroua  
Tél. : (237) 29 24 15/29 24 78  
Fax : (237) 29 29 76  
s/c donfack@maroua.orstom.cm

#### Côte d'Ivoire

M. F.A. Assamoi  
Génétique et amélioration des plantes  
Idessa  
BP 121  
Ferkessédougou  
Tél. : (225) 88 02 84  
Fax : (225) 63 31 26

### Mali

M. M'Pie Bengaly  
Ier/Crra Sikasso  
Espgrn Sikasso  
BP 186  
Sikasso  
Tél. : (223) 62 00 28  
Fax : (223) 22 37 75

M. S.B. Coulibaly  
Chef du programme sorgho/Ier  
Station de Sotuba  
BP 438  
Bamako  
Tél. : (223) 22 78 53/22 60 08  
Fax : (223) 22 37 75  
sbecoul@ier.dir.ier.ml

M. A. Diallo  
Responsable du volet  
sélection/Programme sorgho  
Ier/Crra Sotuba  
BP 438  
Bamako  
Tél. : (223) 22 78 53/22 60 08  
Fax : (223) 22 37 75

M. C. Diarra  
Ier/Station de recherche agronomique de  
Cinzana  
BP 214  
Segou  
Tél. : (223) 32 04 86  
Fax : (223) 32 04 86/22 37 75

Dr M.D. Doumbia  
Laboratoire sol-eau-plante  
Ier  
BP 258  
Bamako  
Tél. : (223) 22 61 66  
Fax : (223) 22 37 75  
madu@ier-dir.ier.ml

Dr O.Y. Doumbia  
Directeur du centre régional de recherche  
agronomique Sotuba/Ier  
BP 438  
Bamako

Tél. : (223) 22 78 53 /22 60 08  
Fax : (223) 22 37 75

M. D. Drame  
Ier/Laboratoire de technologie alimentaire  
BP 438  
Sotuba  
Tél. : (223) 22 78 53/22 60 08  
Fax : (223) 22 37 75  
doucoure@ier.ml

Dr A. Gakou  
Fertilisation/Programme coton/Ier  
Station de recherche agronomique N'Tarla  
BP 28  
Koutiala  
Tél. : (223) 62 01 07  
agakou@ier.sik.ml

M. S. Kanté  
Espgrn/Ier  
BP 186  
Sikasso  
Tél. : (223) 62 00 28/62 03 46  
Fax : (223) 62 03 49

M. M. Koné  
Programme coton/Ier  
BP 16  
Sikasso  
Tél. : (223) 62 03 61/62 01 07  
Fax : (223) 22 37 75  
mkoné@ier-sik.ml

M. M. Kouressy  
Assistant de recherche/Ier  
Laboratoire sol-eau-plante  
BP 438  
Sotuba  
Tél. : (223) 22 78 53/22 61 66  
Fax : (223) 22 87 17

Dr O. Niangado  
Directeur général de l'Ier  
Avenue Mohamed V  
BP 258  
Bamako  
Tél. : (223) 22 24 13/23 19 05  
Fax : (223) 22 37 75

M. M. Ouattara  
Ier/Laboratoire sol-eau-plante  
BP 438  
Sotuba  
Tél. : (223) 22 78 53/22 61 66

#### **Tchad**

Dr Yagoua Ndjekoukousse Djool  
Station Cirad-ca de Bébédjia  
BP 31  
Moundou  
Tél./Fax : (235) 69 12 58

#### **Togo**

M. M. Batoussi  
Responsable du programme sorgho-mil  
Institut national des cultures vivrières  
BP 2318  
Lomé  
Tél. : (228) 25 00 43  
Fax: (228) 25 15 59/21 87 92

Dr S.K. Debrah  
Scientist Agroecconomics  
IFDC  
BP 4483  
Lomé  
Tél. : (228) 21 79 71  
Fax : (228) 21 78 17  
ifdctogo@cafe.tg

#### **Autres**

##### **Cmdt-Mali**

M. J.-B. Diabaté  
Dtdr, Cmdt  
BP 487  
Bamako  
Tél. : (223) 22 72 69  
Fax : (223) 22 81 41

M. O. Diakité  
Chef de section de recherche  
d'accompagnement  
Cmdt, direction régionale  
BP 01  
Koutiala  
Tél. : (223) 64 01 19  
Fax : (223) 64 01 55

M. I. Doumbia  
Chef de la division semences Cmdt  
Sikasso  
BP 27  
Tél. : (223) 62 03 02

M. N. Fané  
Chef de division Drs  
Cmdt, direction régionale  
BP 01  
Koutiala  
Tél. : (223) 64 01 19/64 01 03  
Fax : (223) 64 01 55

M. F. Giraudy  
Conseiller en suivi-évaluation  
Cmdt/Coopération française  
BP 487

Bamako  
Tél. : (223) 22 83 40  
Fax : (223) 22 81 41

Dr T. Schrader  
Sociologue, conseiller technique  
Cmdt/Kit  
BP 487  
Bamako  
Tél. : (223) 22 72 69  
Fax : (223) 22 81 41

M. B. Wennink  
Conseiller technique  
Cmdt/Ddrs  
BP 92  
Koutiala  
Mali  
Tél. : (223) 64 01 03  
Fax : (223) 64 01 55

M. C. Dembélé  
Cnesoler  
Route de Sotuba  
BP 134  
Bamako, Mali  
Tél. : (223) 22 78 03  
Fax : (223) 22 71 84

Institut du Sahel  
M. M. L. Diarra  
Insah  
Documentaliste  
BP 1530  
Bamako, Mali  
Tél. : (223) 22 23 37/22 21 48  
Fax : (223) 22 23 37

##### **Ipr-Mali**

Dr A. Bretaudeau  
Maître de conférence  
Ipr-Katibougou  
BP 06  
Koulikoro  
Tél. : (223) 26 20 12/26 21 89  
Fax : (223) 26 20 03/26 21 89

##### **Mcac-Mali**

M. H. De Milly  
Conseiller en développement rural  
Mission de coopération et d'action  
culturelle  
Ambassade de France au Mali  
BP 84  
Bamako, Mali  
Tél. : (223) 22 83 38/22 64 29  
Fax : (223) 22 83 39

##### **Ohvn-Mali**

M. I. Sidibé  
Chef de section production animale et  
végétale  
Ohvn  
BP 178  
Bamako  
Tél. : (223) 22 40 64

##### **Cirad-Burkina Faso**

M. G. Trouche  
Cirad/Inera  
01 BP 596  
Ouagadougou  
Tél. : (223) 30 70 70  
Fax : (223) 30 76 17  
trouche@oua-cirad.cirad.bf

##### **Cirad-France**

Dr J. Chantereau  
Cirad-ca  
BP 5035  
34032 Montpellier Cedex 1  
Tél. : 33 (0) 4 67 61 56 96  
Fax : 33 (0) 4 67 61 71 60  
chantereau@cirad.fr

Dr P. Dufour  
Amélioration des plantes/Cirad-ca  
BP 5035  
34032 Montpellier Cedex 1  
Tél. : 33 (0) 4 67 61 44 41  
Fax : 33 (0) 4 67 61 44 44

Dr G. Fliedel  
Laboratoire de technologie des  
céréales/Cirad-ca  
Maison de la technologie  
75, rue J.-F. Breton  
34032 Montpellier Cedex 1  
Tél. : 33 (0) 4 67 61 44 41  
Fax : 33 (0) 4 67 61 44 44  
fliedel@cirad.fr

Dr J.-L. Marchand  
Chef du programme céréales  
Cirad-ca  
BP 5035  
34032 Montpellier Cedex 1  
Tél. : 33 (0) 4 67 61 59 70  
Fax : 33 (0) 4 67 61 71 60  
marchand@cirad.fr

##### **Cirad-Mali (Ier)**

Dr M. Vaksman  
Cirad/Ier  
BP 1813  
Bamako  
Tél. : (223) 22 42 93  
Fax : (223) 22 87 17  
vaksman@malinet.ml

##### **Cirad-Mali (Icrisat)**

Dr J. Gigou  
Agronome Cirad  
Icrisat/Wcarp  
BP 320  
Bamako  
Tél. : (223) 22 33 75/23 49 30  
Fax : (223) 22 86 83  
gigou@cirad-ca.cirad.ml

Dr P. Grard  
Malherbologiste Cirad  
Icrisat/Wcarp  
BP 320  
Bamako

Tél. : (223) 22 33 75/23 49 30  
Fax : (223) 22 86 83  
grard@malinet.ml

Dr A. Ratnadass  
Entomologiste et coordonnateur Cirad  
Icrisat/Wcarp  
BP 320  
Bamako  
Tél. : (223) 22 33 75/23 49 30  
Fax : (223) 22 86 83  
a.ratnadass@cgnet.com

#### **Icrisat**

Icrisat-Inde  
Dr R. Bandyopadhyay  
Senior Scientist (Pathology)  
Cpd-Icrisat Asia Center  
Icrisat, Patancheru 502 324  
Andhra Pradesh  
Tél. : 91 40 59 61 61  
Fax 91 40 24 12 39  
r.bandyopadhyay@cgnet.com

Dr H.F.W. Rattunde  
Senior Scientist (Breeding)  
Ged-Icrisat Asia Center  
Icrisat, Patancheru 502 324  
Andhra Pradesh  
Tél. : 91 40 59 61 61  
Fax : 91 40 24 12 39  
f.rattunde@cgnet.com

Dr J.W. Stenhouse  
Principal Scientist (Breeding)  
and Acting Research Division Director  
(Ged)  
Icrisat-Asia Center  
Patancheru 502 324-Indhra Pradesh, India  
Tél. : 91 40 59 61 61  
Fax : 91 40 24 12 39  
j.stenhouse@cgnet.com

#### **Icrisat-Mali**

M. B. Cissé  
Assistant de recherche  
Cpd/Icrisat/Wcarp  
BP 320  
Bamako  
Tél. : (223) 22 33 75/23 49 30  
Fax : (223) 22 86 83  
cisseb@cgnet.com

M. D. Dembélé  
Assistant de recherche  
Cirad/Icrisat/Wcarp  
BP 320  
Bamako  
Tél. : (223) 22 33 75/23 49 30

M. M. AG Hamada  
Assistant de recherche  
Cirad/Icrisat/Wcarp  
BP 320  
Bamako  
Tél. : (223) 22 33 75/23 49 30  
Fax : (223) 22 86 83

Dr B.I.G. Haussman  
Icrisat/université de Hohenheim  
BP 320  
Bamako  
Tél. : (223) 22 33 75/23 49 30  
Fax : (223) 22 86 83  
b.haussman@cgnet.com

Dr D.E. Hess  
Principal Scientist Pathology  
Cpd-Cereals Pathology/Icrisat/Wcarp  
BP 320  
Bamako  
Tél. : (223) 22 33 75/23 49 30  
Fax : (223) 22 86 83  
d.hess@cgnet.com

M. M. Diarra  
Assistant de recherche  
Ged/Icrisat/Wcarp  
BP 320  
Bamako  
Tél. : (223) 22 33 75/23 49 30  
Fax : (223) 22 86 83

Dr D.S. Murty  
Principal Scientist/Breeding  
Ged/Icrisat/Wcarp  
BP 320  
Bamako  
Tél. : (223) 22 33 75/23 49 30  
Fax : (223) 22 86 83  
E-mail : d.murty@cgnet.com

M. I. Sissoko  
Assistant supérieur de recherche  
Cpd-Cereals Pathology  
Icrisat/Wcarp  
BP 320  
Bamako  
Tél. : (223) 22 33 75/23 49 30  
Fax : (223) 22 86 83

M. K.B. Traoré  
Assistant de recherche  
Icrisat/Wcarp  
BP 320  
Bamako  
Tél. : (223) 22 33 75/23 49 30

Dr F. Waliyar  
Principal Scientist (Pathology)  
Icrisat Country Representative  
Icrisat/Wcarp  
BP 320  
Bamako  
Tél. : (223) 22 33 75/23 49 30  
Fax : (223) 22 86 83

Dr A. Yapi  
Research Fellow  
Sepd/Icrisat/Wcarp  
BP 320  
Bamako  
(223) 22 33 75/23 49 30  
Fax : (223) 22 86 83  
a.yapi@cgnet.com

#### **Rocars/Icrisat-Mali**

Dr I. Akintayo  
Coordonnateur Rocars/Wcarp  
Icrisat  
BP 320  
Bamako  
Tél. : (223) 22 33 75/23 49 30  
Fax : (223) 22 86 83  
a.akintayo@cgnet.com

#### **Icrisat-Niger**

Dr K. Anand Kumar  
Regional Executive Director,  
West and Central Africa  
Icrisat Sahelian Center, Sadore  
BP 12404 Niamey  
Tél. : (227) 72 25 29/72 25 29  
Fax : (227) 73 43 20  
k.kumar@cgnet.com

#### **Icrisat-Nigeria**

Dr O. Ajayi  
Principal Scientist (Entomology)  
Icrisat Country Representative, Iita Office  
Sabo Bakin Zuwo Road  
Pmb 3491  
Kano  
Tél. : (234) 64 66 20 50  
Fax : (234) 64 66 34 92/66 90 51  
o.ajayi@cgnet.com

Dr S.C. Gupta  
Principal Scientist (Breeding)  
Icrisat  
Sabo Bakin Zuwo Road  
PMB 3491  
Kano  
Tél. : (234) 64 66 20 50  
Fax : (234) 64 66 34 92/66 90 51  
s.c.gupta@cgnet.com

Dr R. Tabo  
Principal Scientist (Agronomy), Icrisat  
Sabo Bakin Zuwo Road  
PMB 3491  
Kano  
Tél. : (234) 64 66 20 50  
Fax : (234) 64 66 34 92/66 90 51  
r.tabo@cgnet.com

#### **Interprètes**

M. A. Dicko  
Interprète de conférence  
Membre de l'Aiic-Genève  
BP 1846  
Bamako  
Mali

M. S. Konté  
Interprète de conférence  
Membre de l'Aiic-Genève  
c/o Institut du Sahel/Silss  
BP 1530  
Bamako  
Mali  
Tél. : (223) 22 21 48/23 40 67  
Fax : (223) 22 23 27/23 02 37



**Secrétariat**

M<sup>lle</sup> A.-M. Mukambeli

Secrétaire

Icrisat-Cirad

BP 320

Bamako

Mali

Tél. : (223) 22 33 75

M<sup>me</sup> S.H. Touré

Secrétaire Rocars

Icrisat/Wcarp

BP 320

Bamako

Mali

Tél. : (223) 22 33 75

Fax : (223) 22 86 83

M. M.F. Sidibé

Assistant administratif Rocars

BP 320

Bamako

Mali

Tél. : (223) 22 33 75

Fax : (223) 22 86 83

## La collection Colloques

La collection Colloques publie les actes de séminaires organisés ou coorganisés par le CIRAD

### Déjà parus

Analyse de la diversité des situations agricoles. Conséquences sur la programmation de la recherche

22-28 octobre 1993, Garoua, Cameroun

Coconut *Phytophthora*

October 26-30, 1992, Manado, Indonesia

La recherche européenne au service du cocotier/*European Research Working for Coconut*

8-10 septembre 1993/*September 8-10, 1993*, Montpellier, France

Traitements statistiques des essais de sélection. Stratégies d'amélioration des plantes pérennes

12-14 septembre 1994, Montpellier, France

Production et valorisation du maïs à l'échelon villageois en Afrique de l'Ouest

25-28 janvier 1994, Cotonou, Bénin

Sustainable land management in African semi-arid and subhumid regions

November 15-19, 1993, Dakar, Senegal

Rencontres cacao. Les différents aspects de la qualité/*Cocoa Meetings. The various aspects of quality*

30 juin 1995/*June 30, 1995*, Montpellier, France

Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides

13-17 novembre 1995, Montpellier, France

Interactions insectes-plantes

26-27 octobre 1995, Montpellier, France

Couplage de modèle en agriculture

14-15 juin 1995, Montpellier, France

Environnement et littoral mauritanien

12-13 juin 1995, Nouakchott, Mauritanie

Séminaire riziculture d'altitude

29 mars - 5 avril 1996, Antananarivo, Madagascar

Agricultures des savanes du Nord-Cameroun

25-29 novembre 1996, Garoua, Cameroun

Le travail du sol dans les systèmes mécanisés tropicaux

11-12 septembre 1996, Montpellier, France

### A paraître

Dromadaires et chameaux animaux laitiers

24-26 octobre 1994, Nouakchott, Mauritanie

L'igname, plante séculaire et culture d'avenir : acquis et perspectives de la recherche

3-6 juin 1997, Montpellier, France.

Aménagement et mise en valeur des bas-fonds au Mali

21-25 octobre 1996, Sikasso, Mali